



# **Rapport annuel** **Du 1<sup>er</sup> avril 2023 au 31 mars 2024**

**À l'intention du ministère de l'Innovation, des Sciences et du  
Développement économique  
31 juillet 2024**



# MOT DU DIRECTEUR GÉNÉRAL

Depuis plus de 20 ans, l'Institut d'informatique quantique (IQC) est en tête de la course théorique et expérimentale à la science et aux technologies de l'information quantique. Grâce au partage intellectuel interdisciplinaire qu'il encourage, l'établissement a réalisé des avancées inédites dans les communications, la détection, l'informatique et les matériaux quantiques. Il cultive une communauté diversifiée et passionnée sans pareil, où règnent la solidarité en recherche et une approche holistique du continuum de l'innovation entre la recherche fondamentale et la curiosité et l'élaboration d'applications quantiques qui engendreront technologies et sociétés dérivées axées sur les dispositifs quantiques.

Nos chercheurs – l'essence de l'IQC – contribuent à résoudre des problèmes quantiques qui touchent une foule de domaines intellectuels. Ils œuvrent à bâtir des communautés qui recoupent différentes plateformes au sein de l'établissement et à l'échelle pancanadienne pour aborder des problèmes précis et de grandes questions de recherche. Ils contribuent également à la production économique du Canada en favorisant le démarrage d'entreprises, la création de brevets et le développement de technologies de pointe répondant aux besoins de l'industrie. L'IQC est une communauté florissante qui continue d'approfondir notre compréhension de la science de l'information quantique grâce à la recherche expérimentale, théorique et collaborative.

Voici certains des exploits de nos membres dans la dernière année :

- Promotion de plateformes à code source libre et de communautés interdisciplinaires ayant comme but commun d'unir les chercheurs théoriques et expérimentaux dans une optique stratégique et au service de toute la communauté quantique. Soulignons notamment la communauté des répéteurs quantiques et le groupe scientifique IQC-AMO (atomique, moléculaire et optique), qui travaillent à encourager les interactions entre les chercheurs des différents domaines de l'IQC, et la Post-Cryptography Open-Source Alliance de la Linux Foundation, qui aura des retombées du côté des technologies post-quantiques et de la sécurité des données dans divers secteurs et pays.
- Organisation de la conférence inaugurale Quantum Connections, qui a rassemblé plus de 150 membres de la communauté quantique canadienne (universitaires, représentants gouvernementaux, acteurs privés) dans un milieu stimulant propice aux interactions et au réseautage afin d'inspirer de nouvelles innovations et de nouveaux partenariats.
- Utilisation de molécules ultrafroides pour créer un piège novateur mesurant les chocs inélastiques entre les molécules, un projet qui inspire aujourd'hui l'exploration d'une myriade de phénomènes différents, comme l'étude de la réponse des molécules à l'introduction de lumière, l'étude contrôlée des réactions chimiques induites par la lumière auparavant problématiques, et l'évaluation de la faisabilité de prolonger la vie des molécules ultrafroides à l'aide de diverses méthodes de piégeage. La publication correspondante n'est qu'un exemple des multiples articles fortement cités dans le Web of Science publiés par des chercheurs de l'IQC ces dernières années (groupe d'Alan Jamison).

- Accueil de plus de 50 % de femmes et de personnes non binaires dans les écoles d'été pour élèves du secondaire et étudiants du premier cycle, un succès qui aide les jeunes femmes à se projeter en STIM dans des programmes de cycle supérieur et des instituts de recherche.
- Contribution à la scène quantique d'autres pays par la participation à des conférences et des événements de réseautage. Michele Mosca, largement reconnu comme un expert de premier plan en sécurité quantique, rencontre régulièrement des chefs d'État et des responsables économiques du monde entier pour les aider à comprendre les risques et les possibilités de la cryptographie quantique à venir. Cette année seulement, il a rencontré des décideurs du Royaume-Uni, de la Suisse, de Singapour, des États-Unis et des quatre coins du Canada. Son leadership est un exemple de la reconnaissance dont bénéficient l'IQC et le Canada à titre d'experts de confiance en excellence quantique.

Nos chercheurs continuent de repousser les limites pour transposer les percées théoriques en applications et en produits commercialisables. Nous avons bâti une communauté de talents audacieux à l'avant-garde; nous sommes des chefs de file lorsqu'il est question de répondre à la demande croissante de technologies et de débouchés en quantique. Institut quantique canadien le mieux établi, l'IQC dispose de l'expertise, des programmes et de l'écosystème pour former le personnel hautement qualifié tant prisé par les secteurs privé et universitaire.

Au cœur de la science quantique au Canada depuis deux décennies, l'établissement est encore aujourd'hui le carrefour national de la communauté – le principal centre au pays qui diplôme des étudiants de calibre mondial (dont 40 devenus professeurs dans des universités partout dans le monde), produit de la recherche de première classe et donne naissance à des sociétés dérivées prospères qui répondent à l'intérêt commercial croissant pour les technologies quantiques. Les forces de l'IQC en font un bon promoteur de l'écosystème quantique au pays et à l'étranger, notamment ses projets à code source libre et ses accès à des plateformes d'informatique quantique perturbatrices. Il met le Canada sur la voie de la réussite, appuyant la communauté scientifique dans le déploiement de centres de recherche quantique d'un océan à l'autre.

Norbert Lütkenhaus  
Directeur général, Institut d'informatique quantique  
Université de Waterloo

# TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE .....	4
L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE .....	5
OBJECTIFS DE FINANCEMENT .....	6
Objectif A .....	7
Objectif B .....	40
Objectif C .....	51
Objectif D .....	64
Objectif E .....	71
<i>Brand Canada as a place to conduct research in quantum information technologies</i> .....	76
ANNEXES .....	79
A. <i>Évaluation et atténuation des risques</i> .....	79
B. <i>Publications</i> .....	81
C. <i>Professeurs, professeurs adjoints en recherche et associés de recherche</i> .....	82
D. <i>Collaborations</i> .....	83
E. <i>Stagiaires postdoctoraux</i> .....	88
F. <i>Étudiants de cycle supérieur</i> .....	89
G. <i>Présentations et participations à des conférences</i> .....	90
H. <i>Visiteurs scientifiques</i> .....	98
I. <i>États financiers</i> .....	101
<i>Motion</i> .....	104

## SOMMAIRE

Fondé en 2002, l'Institut d'informatique quantique (IQC) est aujourd'hui un catalyseur de découvertes au Canada, permettant des percées dans les sciences de l'information quantique et les technologies quantiques. Ces découvertes attirent des professeurs intéressants, des étudiants brillants et des investissements de partout dans le monde. La recherche fondamentale, portée par l'esprit entrepreneurial de Waterloo, promeut une culture où la recherche est commercialisée à l'avantage de toute la population.

Pour appuyer l'IQC dans ses importants travaux, le gouvernement du Canada lui a accordé en 2022 un financement de 10 millions de dollars sur deux ans. Ces fonds ont contribué à rapprocher grandement l'IQC de cinq objectifs centraux.

Voici quelques faits saillants de l'exercice 2023-2024 :

- Presque 25 000 000 \$ amassés en financement, pour un total cumulatif de près de 150 000 000 \$ dans les cinq dernières années
- Recrutement d'un nouveau professeur, Bradley Hauer, qui se spécialise dans l'étude des systèmes optomécaniques et des circuits supraconducteurs
- Soutien de 53 stagiaires postdoctoraux dans sept départements
- Publication de 178 articles dans des revues à comité de lecture et un total de plus de 97 000 citations
- Présentation de 134 exposés lors de conférences et de colloques au Canada et à l'étranger sur l'élaboration de normes, la portée des nouvelles interprétations juridiques et les enjeux qui alimentent les chercheurs de partout
- Établissement et maintien d'un énorme réseau de partenariats universitaires et entrepreneuriaux à l'échelle internationale, avec plus de 187 collaborations en cours au pays et ailleurs
- Réception de 310 demandes d'étudiants canadiens et étrangers pour les programmes d'information quantique des cycles supérieurs et de centaines d'autres pour les programmes traditionnels
- Tenue de 9 ateliers, 63 séminaires et 11 colloques, et commandite de 15 programmes scientifiques externes pour exposer continuellement les meilleurs étudiants des cycles supérieurs à des chercheurs professionnels d'instituts internationaux de premier plan

En collaboration avec le gouvernement du Canada et ses autres partenaires, l'IQC bâtit activement l'économie canadienne de l'information quantique dans le couloir Waterloo-Ottawa et partout au pays. En plus d'avoir établi le principal écosystème national axé sur le marché pour le développement, la construction et l'évaluation de services et de dispositifs d'information quantique, l'IQC contribue à l'essor canadien en formant et en mentorant de nombreux professeurs d'autres instituts quantiques majeurs au pays et produisant des diplômés de premier cycle hautement qualifiés, comme l'appelle la demande croissante du secteur privé face à notre avenir quantique.



# L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE

Créé en 2002, l'IQC de l'Université de Waterloo a pour mission de développer les sciences et technologies de l'information quantique au Canada. Sa vision fondatrice était audacieuse : **faire du Canada un chef de file en recherche quantique et lui donner les infrastructures nécessaires pour qu'il devienne une puissance dans le domaine.** Aujourd'hui, l'IQC se classe parmi les meilleurs instituts de recherche sur l'information quantique au monde. Des spécialistes de tous les champs d'expertise en sciences et technologies de l'information quantique viennent y faire des recherches, échanger des connaissances et encourager et soutenir la relève en sciences, en mathématiques et en génie.

L'IQC prépare la prochaine grande révolution technologique du pays; les découvertes et les applications quantiques produites dans ses laboratoires jettent les bases des technologies de nouvelle génération, à partir de recherches menées ici même au Canada.

Rien de tout cela n'aurait été possible sans le leadership et les investissements visionnaires de Mike et Ophelia Lazaridis, du gouvernement du Canada et de l'Université de Waterloo. Ce partenariat public-privé stratégique a accéléré la recherche et les découvertes dans le domaine de l'information quantique ici comme ailleurs.

## Vision et mission

L'IQC vise à exploiter la puissance de la mécanique quantique en créant des technologies transformatrices qui bénéficieront à la société et deviendront les moteurs de la croissance économique au XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà.

Il s'est donné pour mission de rassembler informaticiens, ingénieurs, mathématiciens et physiciens pour développer et faire avancer les sciences et technologies de l'information quantique du plus haut calibre international.

## Objectifs stratégiques

L'IQC poursuit trois objectifs stratégiques, définis en partenariat avec le gouvernement du Canada :

1. Faire de Waterloo un carrefour international de recherche sur les technologies quantiques et leurs applications.
2. Attirer un effectif hautement qualifié dans le domaine de l'information quantique.
3. Être une source précieuse de renseignements, d'analyses et de commentaires sur l'information quantique.

## OBJECTIFS DE FINANCEMENT

2022-2024

En avril 2022, le gouvernement du Canada a accordé à l'IQC un financement de 10 millions de dollars sur deux ans pour servir les cinq objectifs suivants :

- A. Promouvoir le savoir dans le domaine de la science et des technologies de l'information quantique.
- B. Offrir des possibilités aux étudiants d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances.
- C. Faire connaître la science et les technologies de l'information quantique dans la communauté scientifique et de façon plus générale au Canada.
- D. Permettre au Canada de tirer parti des avantages économiques et sociaux de la recherche en saisissant les occasions de commercialiser les percées.
- E. Cultiver la réputation du Canada comme carrefour de la recherche sur la science et les technologies de l'information quantique.

Grâce aux activités planifiées et entreprises par l'IQC avec l'aide du gouvernement fédéral au cours des 10 dernières années, le pays se retrouve en bonne position pour tirer pleinement parti des avantages socioéconomiques de la recherche et des technologies quantiques. Les sections suivantes s'attardent aux progrès accomplis pendant l'exercice 2023-2024.



## Objectif A

Promouvoir le savoir dans le domaine de la science et des technologies de l'information quantique.

**Résultats attendus :** Connaissances accrues sur l'information et les technologies quantiques.

Activités planifiées :

- Faire appel aux chercheurs de talent de trois facultés de l'Université de Waterloo (génie, mathématiques et sciences) pour poursuivre le programme de recherche collaborative et interdisciplinaire de l'IQC sur l'informatique quantique, la communication quantique, les capteurs quantiques et les matériaux quantiques.
- Publier les résultats de recherche dans des revues mondialement reconnues.
- Recruter de nouveaux professeurs, professeurs adjoints en recherche et associés de recherche.
- Continuer d'équiper et d'entretenir l'Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques (QNFCF) aux fins de la fabrication de technologies quantiques.
- Moderniser et entretenir l'espace de laboratoire dans les locaux du Centre d'avancement de la recherche (RAC).
- Maintenir des relations efficaces et pertinentes avec les partenaires de recherche actuels.
- Chercher de nouveaux partenariats pour faire avancer la mission et les objectifs stratégiques de l'IQC.



## Publications et citations

En 2023-2024, les chercheurs de l'IQC ont collectivement publié 178 articles dans des revues à comité de lecture. Depuis 2002, ce sont 2 943 articles qui ont été publiés<sup>1</sup>, notamment dans des revues scientifiques majeures, comme *Science*, les publications *Nature*, le *Journal of Mathematical Physics* et les *Physical Review Letters*. En plus de s'illustrer dans ces revues largement reconnues pour leur prestige, les chercheurs de l'IQC produisent des articles publiés dans des revues comme *Quantum*, *NPJ Quantum Information* et *PRX Quantum*, tout aussi prestigieuses, mais axées uniquement sur la science quantique.

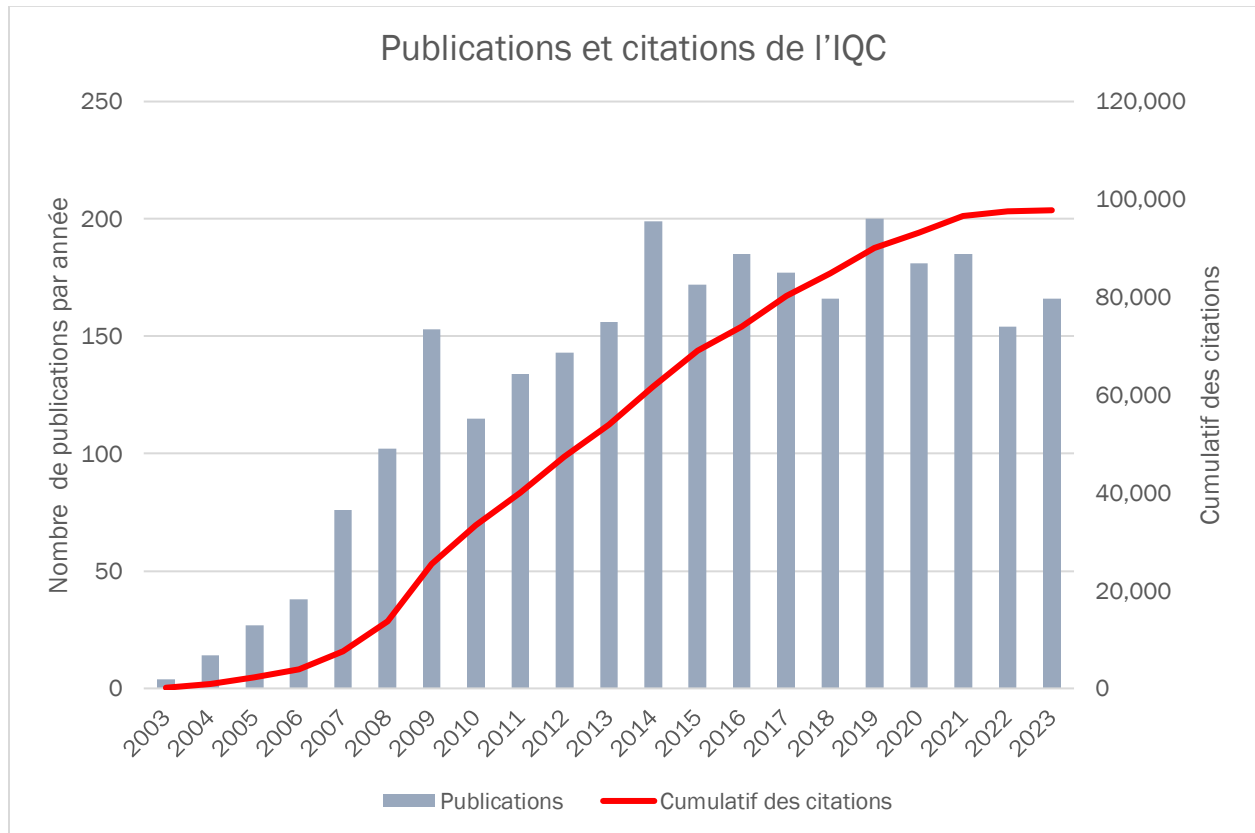
Outre le nombre et la qualité globale des articles, il y a l'influence de chaque chercheur sur son domaine : puisque l'influence croît avec le temps, il arrive qu'un article soit peu cité dans sa première année, puis gagne en audience après un an ou deux. C'est le cas de l'article « A Feshbach resonance in collisions between triplet ground-state molecules » du Pr Alan Jamison, publié en février 2023 dans *Nature*, qui est devenu fortement cité en 2024, avec un total de 14 citations en un an. Le potentiel d'un meilleur contrôle des réactions chimiques est maintenant reconnu par ses pairs comme un résultat prometteur sur lequel fonder d'autres travaux. Selon un examen sommaire dans le Web of Science, les chercheurs de l'IQC ont publié 12 articles fortement cités dans les cinq dernières années.

Selon une analyse approfondie, 64,3 % des articles publiés par l'IQC en 2023-2024 étaient le résultat d'une collaboration internationale avec des universités et des instituts de renom, comme le Massachusetts Institute of Technology (MIT), l'Université du Maryland et l'Université d'Oxford, ainsi qu'avec d'autres grands acteurs canadiens du domaine de la quantique, dont l'Université de Sherbrooke, l'Université d'Ottawa et l'Université de Toronto. L'IQC collabore aussi avec des chercheurs hors du milieu universitaire, notamment à IBM, au Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et au National Institute of Standards and Technology.

---

<sup>1</sup> Y compris les articles dans le Web of Science et les publications Scopus non indexées dans le Web of Science.

Les citations sont un indicateur important de l'influence d'une publication. En date du 31 mars 2023, les articles publiés de l'IQC totalisaient 97 772 citations – et, fait intéressant, le total cumulé passera la barre des 100 000 en 2024. Le graphique ci-dessous illustre la forte montée des citations, soulignant la grande valeur des travaux de l'IQC pour la recherche mondiale en quantique.



Source : Web of Science; paramètres : AD = ([Inst\* Quant\* Comp\*] OU IQC) et AD = Waterloo + publications Scopus non indexées dans le Web of Science; paramètres : AFFIL (Inst\* Quant\* Comp\*) ET AFFILCITY (Waterloo); années 2015 à 2023. Les données annuelles correspondent aux articles indexés entre le 1<sup>er</sup> avril et le 31 mars suivant.



## Research Highlights: Advancing Quantum Knowledge and Understanding

Les récits ci-dessous portent sur les travaux réalisés à l'IQC et sur les chercheurs derrière ceux-ci. Ils servent à illustrer la portée et la profondeur des recherches menées ainsi qu'à présenter les facteurs qui motivent les chercheurs.

### Conception de nouveaux matériaux comme plateformes pour des dispositifs quantiques robustes

Basé sur une recherche publiée dans Applied Physics Letters le 4 janvier 2023  
[Field effect two-dimensional electron gases in modulation-doped InSb surface quantum wells](#)


Pour garantir la réussite de la conception des futurs ordinateurs quantiques, les chercheurs doivent absolument choisir les matériaux appropriés.

[Jonathan Baugh](#), professeur à l'IQC et au [Département de chimie](#) de l'Université de Waterloo, s'attelle à créer de nouveaux matériaux de haute qualité aux propriétés recherchées pour les applications futures en informatique quantique.

Après plusieurs années de recherche, M. Baugh et ses collaborateurs ont finalement découvert une méthode permettant de faire croître des structures cristallines à l'aide de l'antimoniure d'indium, un semi-conducteur spécifiquement conçu à cet effet. Il s'agit d'une première étape prometteuse dans la construction de dispositifs quantiques de conception.

L'équipe de recherche dirigée par M. Baugh a créé une plateforme en antimoniure d'indium pour un type de qubit en particulier appelé fermion de Majorana. Bien que toujours au stade théorique, ces qubits devraient offrir une meilleure résistance au bruit et à la décohérence par rapport à d'autres types de qubits, étant donné leurs caractéristiques physiques uniques. Les qubits de Majorana bénéficient d'une protection contre les influences extérieures grâce à la façon dont leurs informations sont encodées dans des états quantiques hautement non locaux. Cette protection est une propriété intéressante qui pourrait rendre les futurs ordinateurs quantiques moins sensibles aux erreurs. L'antimoniure d'indium présente une combinaison unique de propriétés, notamment une grande mobilité des électrons et un fort couplage spin-orbite qui, lorsqu'il est couplé à un supraconducteur, créent des conditions propices à l'apparition de fermions de Majorana.

« Au plan théorique, l'antimoniure d'indium contient le meilleur ensemble d'ingrédients idéaux nécessaires pour les qubits de Majorana, du point de vue des semi-conducteurs, explique E. Annelise Bergeron, première auteure de l'étude et candidate au doctorat à l'IQC et au [Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo](#). Notre étude est la première à surmonter certaines des difficultés qui ont entravé les travaux antérieurs concernant la création de plateformes pour la construction de ces dispositifs destinés aux qubits de Majorana. »



Leur travail est le fruit d'une véritable collaboration dans la communauté de l'Université de Waterloo. M. Baugh et M<sup>me</sup> Bergeron ont collaboré avec le [Groupe d'épitaxie par jet moléculaire](#) dirigé par le professeur Zbigniew Wasilewski de l'[Institut de nanotechnologie de Waterloo](#), ainsi qu'avec le [Département de génie électrique et informatique de l'Université Waterloo](#). Les dispositifs ont été fabriqués dans les ateliers de l'[Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques \(QNFCF\)](#), et l'équipe a utilisé des installations d'essai spécialisées dans le cadre du programme [Transformative Quantum Technologies \(TQT\)](#) de l'IQC.

Au moyen d'un procédé appelé épitaxie par jet moléculaire, l'équipe de M. Wasilewski a produit des structures de tranches contenant de fines couches d'antimoniure d'indium appelées puits quantiques. Ces derniers contiennent des électrons confinés dans un plan 2D, une configuration connue sous le nom de gaz d'électrons bidimensionnel. Avec ces tranches, M<sup>me</sup> Bergeron a fabriqué des dispositifs quantiques connus sous le nom de barres de Hall avec grille sur la surface, lesquels sont utilisés pour mesurer les propriétés du gaz d'électrons bidimensionnel. Ensuite, M<sup>me</sup> Bergeron et son équipe ont caractérisé ces dispositifs en utilisant de très basses températures et des champs magnétiques puissants, ce qui correspond à un régime où la résistance de Hall adopte des valeurs quantifiées, connu sous le nom de régime d'*effet Hall quantique*. Leurs résultats démontrent la possibilité d'obtenir des gaz d'électrons bidimensionnels de haute qualité dans l'antimoniure d'indium, présentant des propriétés très prometteuses pour les futurs dispositifs de qubits de Majorana.

Après de nombreuses itérations de croissance de tranches, de fabrication de dispositifs et de mesures, l'équipe de collaborateurs a enfin trouvé une méthode permettant d'obtenir de manière reproductible des structures de puits quantiques, des techniques de fabrication fiables ainsi que des gaz d'électrons bidimensionnels de haute qualité. « En raison des difficultés rencontrées par le passé, personne d'autre n'a encore réussi à travailler avec l'antimoniure d'indium, explique M<sup>me</sup> Bergeron. Le fait que nous ayons rapporté deux croissances de tranches et plusieurs dispositifs issus de chacune de ces croissances témoigne de notre réussite à mettre au point une méthode efficace de croissance des cristaux et de fabrication reproductible. Le cumul de ces éléments, c'est tout un succès! »

Maintenant que l'équipe a réussi à surmonter les obstacles liés à la croissance et à la caractérisation de ces gaz d'électrons bidimensionnels dans l'antimoniure d'indium, elle est enthousiaste à l'idée d'utiliser cette plateforme comme point de départ pour de futures recherches.

« Nous espérons que nos recherches ouvriront la voie à une nouvelle plateforme vraiment unique sur laquelle nous pourrions construire des dispositifs quantiques plus intéressants et déterminer si nous pouvons détecter les fermions de Majorana, a déclaré M. Baugh. Nous sommes sur le point de commencer à travailler avec ce nouveau matériau pour découvrir jusqu'où nous pouvons le mener. »

Cette recherche a été financée en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada par l'intermédiaire du TQT de l'IQC.

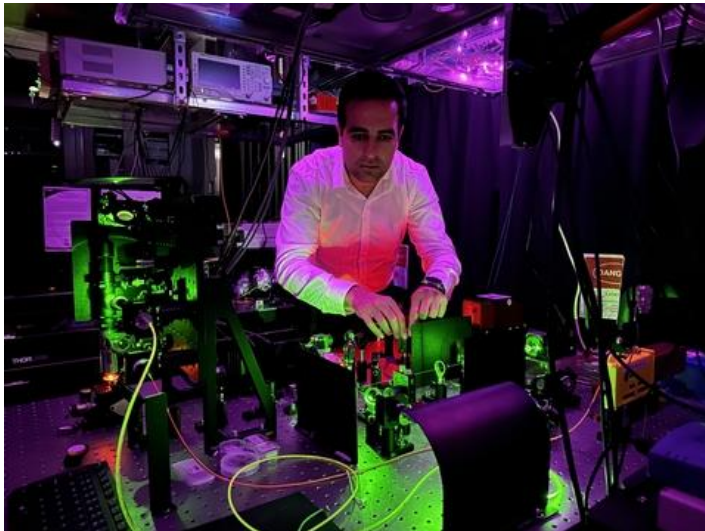
## Des chercheurs proposent une technique pour détecter les photons micro-ondes à l'aide de défauts ponctuels dans le diamant

Basé sur une recherche publiée dans la revue Materials le 21 avril 2023

[Detecting Single Microwave Photons with NV Centers in Diamond](#)


Beaucoup d'expériences en traitement de l'information quantique reposent sur notre capacité à transmettre, à manipuler ou à détecter les photons. Dans ces applications, la longueur d'onde des photons détectés peut aller de l'infrarouge et de la lumière visible utilisée dans les systèmes de communication optique aux photons micro-ondes que l'on trouve dans les dispositifs quantiques supraconducteurs. Bien qu'il existe un vaste éventail de détecteurs de photons optiques, la détection de photons micro-ondes est une autre paire de manches. C'est que le peu d'énergie des photons uniques par rapport au niveau de bruit dans le monde qui nous entoure, y compris dans la lumière d'arrière-plan, complique les choses.

Un détecteur de photons micro-ondes efficace aurait un grand champ d'application : dispositifs quantiques supraconducteurs, informatique quantique, détection quantique, physique des particules, etc. C'est avec cette idée en tête que des chercheurs de l'IQC se sont penchés sur une nouvelle technique pour détecter les photons uniques micro-ondes à l'aide de diamants.



Abdolreza Pasharavesh avec le montage expérimental élaboré par le groupe pour tester ses théories.

En collaboration avec [Michal Bajcsy](#), Ph. D. et [Christopher Wilson](#), Ph. D., membres du corps professoral de l'IQC et du [Département de génie électrique et informatique](#) de l'Université de Waterloo, Olivia Woodman et Abdolreza Pasharavesh, étudiants aux cycles supérieurs à l'IQC, ont mis au point un modèle prometteur capable de détecter ces photons en exploitant la sensibilité à la lumière d'un défaut dans la structure cristalline du diamant. Un diamant parfait se compose uniquement d'atomes de



carbone. Toutefois, certains diamants présentent un centre azote-lacune, soit un vide laissé par la substitution d'un atome de carbone par un atome d'azote. Ces défauts, qui peuvent donner au diamant une teinte rose, sont reconnus pour leurs interactions uniques avec les photons micro-ondes et les photons optiques, lesquelles en font un élément recherché pour diverses applications en technologie quantique, comme les communications, la détection et la recherche fondamentale.

Pour sa proposition, l'équipe de recherche a imaginé un dispositif où les interactions entre les photons micro-ondes et les défauts du diamant modifient les propriétés d'un résonateur optique (cavité). « La première étape consiste à confiner les photons dans des cavités électromagnétiques, explique Abdolreza Pasharavesh. Comme la lumière émise par un photon unique est très faible, nous utilisons les cavités comme mécanisme pour augmenter l'interaction entre les photons et notre émetteur quantique. » Le centre azote-lacune est rattaché à une cavité optique et à un guide d'ondes coplanaire, une structure constituée d'un matériau conducteur, comme une bande de métal, déposé sur une surface plane qui agit comme une barrière sur les parois et le dessous. Les guides d'ondes coplanaires dirigent et transmettent les signaux micro-ondes le long d'un chemin défini, en les empêchant de se disperser.

Dans le détecteur conçu par le groupe, le diamant se trouve à l'intersection du guide d'ondes coplanaires, ce qui permet d'attirer les photons micro-ondes dans le dispositif et dans la cavité optique, qui est sondée par laser et surveillée par un détecteur de photons uniques optiques. Dans les simulations du groupe, les photons micro-ondes frappent le centre azote-lacune du diamant, interagissent avec lui et modifient son spin électronique. Les modifications apportées au spin du centre azote-lacune ont un effet sur la fréquence de résonance de la cavité optique. Les chercheurs peuvent ainsi mesurer la présence de photons micro-ondes sur le guide d'ondes coplanaire en utilisant des photons visibles.

Par des simulations reposant sur des équations maîtresses faisant intervenir le centre azote-lacune et les champs dans les cavités, le groupe a déterminé que son détecteur pouvait atteindre une efficacité de détection d'environ 90 % et une fidélité (pourcentage de détections exactes) supérieure à 90 %. Les dynamiques du système ont été étudiées à l'aide de méthodes de Monte-Carlo, qui prédisent le comportement en contexte réel d'un système complexe selon la moyenne de nombreuses trajectoires simulées.

La relative simplicité, l'aspect pratique et l'efficacité de ce nouveau détecteur sont prometteurs pour le développement de technologies de détection des photons micro-ondes. De plus, l'utilisation proposée d'une matière solide comme le diamant pourrait faciliter l'intégration de ce type de détecteur dans des systèmes électroniques transistorisés, qui sont plus adaptables que d'autres plateformes d'information quantique.

Illustration du dispositif proposé; on y voit le centre azote-lacune d'un diamant à l'intérieur de la cavité optique d'un guide d'ondes coplanaire.



Ces travaux s'inscrivent dans une collaboration en cours visant à convertir les photons micro-ondes en photons optiques et sont soutenus par le [programme Transformative Quantum Technologies](#). « À l'intérieur d'un ordinateur quantique, les circuits supraconducteurs et les photons micro-ondes fonctionnent bien, mais lorsque vient le temps de transmettre l'information à un autre ordinateur, il faut convertir ces photons en photons optiques pour limiter les pertes dans la transmission par câbles à fibre optique, précise Abdolreza Pasharavesh. Pour la suite, il faudra se concentrer sur les interactions cohérentes afin de convertir les qubits micro-ondes en qubits optiques. »

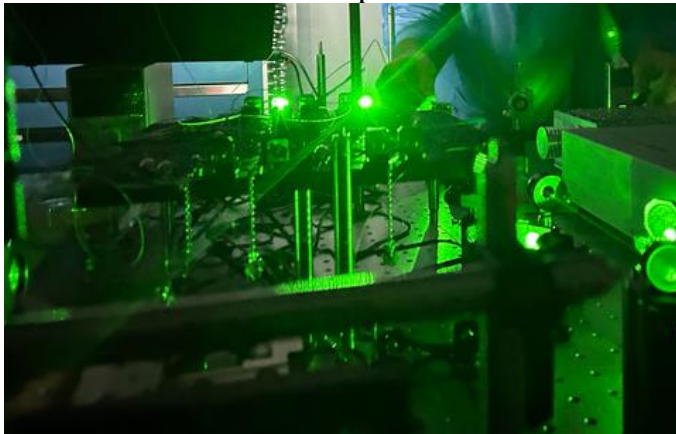
## **Des chercheurs de Waterloo franchissent une étape importante vers un traitement fiable de l'information quantique**

Basé sur une recherche publiée dans la revue Quantum Science and Technology le 27 juillet 2023

[A guided light system for agile individual addressing of Ba<sup>+</sup> qubits with 10<sup>-4</sup> level intensity crosstalk](#)


Nouveau système optique conçu pour cibler et contrôler des atomes uniques  
Des chercheurs ont conçu la méthode la plus fiable à ce jour pour contrôler les qubits uniques de baryum grâce à la lumière laser. La capacité à contrôler efficacement un qubit est une percée majeure pour la construction d'ordinateurs quantiques fonctionnels.

Cette nouvelle méthode, mise au point à l'IQC, use d'un petit guide d'ondes en verre pour séparer les faisceaux laser et les espacer de quatre micromètres, soit environ quatre centièmes de l'épaisseur d'un cheveu humain. Jusqu'à présent, la recherche n'était jamais arrivée à une telle précision et à un tel degré de contrôle en parallèle des faisceaux laser sur leurs qubits cibles.



La manipulation des niveaux d'énergie des ions de baryum requiert une lumière laser verte.

« Notre modèle limite la quantité de diaphonie – la lumière répercutée sur les ions environnants – à une intensité relative très basse de 0,01 %, l'un des meilleurs chiffres de la communauté de la quantique, explique K. Rajibul Islam, professeur à l'IQC et au



Département de physique et d'astronomie de Waterloo. Contrairement aux méthodes précédentes pour contrôler aisément les ions uniques, celle-ci empêche les modulateurs à fibre optique d'interférer entre eux. »

« Nous pouvons ainsi interagir avec n'importe quel ion sans affecter ceux autour, tout en gardant un maximum de contrôle sur chacun. À notre connaissance, aucun système de contrôle des qubits à ions utilisé dans les secteurs universitaire et privé n'est à la fois aussi précis et aussi souple que celui-là. »

Les chercheurs se sont penchés sur les ions de baryum, qui gagnent en popularité dans le domaine de l'informatique quantique des ions piégés. Les ions de baryum ont des niveaux d'énergie simples qui peuvent être utilisés comme niveaux 0 et 1 d'un qubit et manipulés par de la lumière verte visible, contrairement à d'autres types d'atomes dont la manipulation nécessite un rayonnement ultraviolet à énergie plus élevée. Les chercheurs peuvent ainsi tirer parti de technologies optiques disponibles sur le marché, chose impossible lorsqu'on travaille avec des longueurs d'onde ultraviolettes.

L'équipe de recherche a créé une puce de guide d'ondes qui divise un faisceau laser en 16 pinces lumineuses différents. Chaque pince lumineuse est ensuite dirigé vers un modulateur à fibre optique, qui offre un bon contrôle de l'intensité, de la fréquence et de la phase de chaque faisceau laser. Ces derniers sont ensuite concentrés à petite distance les uns des autres grâce à un ensemble de lentilles optiques semblables à un télescope.

Les chercheurs ont vérifié la concentration et le contrôle de chaque faisceau laser en les mesurant avec des capteurs photographiques précis.

« Ce projet s'inscrit dans les efforts de l'Université de Waterloo pour bâtir des processeurs quantiques d'ions de baryum avec des systèmes atomiques », affirme Crystal Senko, cochercheuse principale avec K. Rajibul Islam et membre du corps professoral de l'IQC et du Département de physique et d'astronomie de Waterloo.

« Nous utilisons les ions parce qu'ils sont des qubits identiques naturels; nous n'avons pas besoin de les fabriquer. Notre défi, c'est de trouver des manières de les contrôler. »

Cette nouvelle méthode de contrôle par guide d'ondes est simple et précise, donc prometteuse pour la manipulation d'ions dans une optique d'encodage et de traitement des données quantiques et pour la concrétisation de la simulation et de l'informatique quantiques.

## **Des découvertes sur les molécules ultrafroides inspirées par des techniques d'autrefois**

Basé sur une recherche publiée dans la revue Nature Physics le 31 juillet 2023  
[Magnetic trapping of ultracold molecules at high density](#)

Parfois, c'est en considérant sous un jour nouveau des méthodes ou des techniques expérimentales bien connues que l'on réalise des percées scientifiques : voilà la prémisse d'une nouvelle étude du Pr Alan Jamison, membre du corps professoral de l'IQC et du





Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, et de ses collaborateurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Le Pr Jamison étudie les molécules ultrafroides. Obtenues en refroidissant des atomes dans un piège jusqu'à des températures proches du zéro absolu, elles peuvent être étudiées pour des applications en chimie contrôlée à l'état quantique, en simulation quantique et en traitement de l'information quantique. L'une des premières grandes avancées dans ce domaine fut l'observation de condensats de Bose-Einstein, réalisée en laboratoire dans des pièges d'atomes magnétiques au milieu des années 1990. On doit cette avancée à une équipe dont faisait partie l'un des collaborateurs du Pr Jamison, le Pr Wolfgang Ketterle, qui a reçu pour ces travaux le prix Nobel de physique en 2001.

Toutefois, si les pièges magnétiques sont encore parfois utilisés pour le refroidissement d'atomes, ils ont depuis été détrônés par les lasers optiques dans les expériences en laboratoire. Plus rapides, les pièges optiques peuvent capter un plus grand spectre d'atomes et de molécules que leurs prédécesseurs, qui ne captaient que les atomes et molécules aux propriétés magnétiques.

« Lorsque les gens ont commencé à produire des molécules ultrafroides, il leur fallait utiliser un piège optique pour maintenir les atomes dans un état optimal.


Naturellement, c'est aussi dans ces pièges que l'on menait les expériences avec les molécules, explique le Pr Jamison. Or, certaines des molécules ultrafroides que l'on croyait chimiquement stables semblent plutôt entrer en réaction chimique avec la lumière des pièges optiques. »

Le professeur et son équipe ont donc eu l'idée de se tourner vers les pièges magnétiques qui, ne requérant pas de lumière, leur permettraient d'étudier ces réactions chimiques en milieu contrôlé et d'explorer de nouvelles pistes intéressantes.

« Nous étudions l'une des rares molécules ultrafroides piégeables magnétiquement, ce qui nous donne la liberté d'aborder les techniques d'autrefois sous un angle nouveau, lance le Pr Jamison. Ce qui est intéressant, c'est qu'on peut observer ces réactions sans avoir à se soucier des effets de la lumière. D'un côté, ça nous oblige à ne travailler qu'avec des états qui se prêtent aux pièges magnétiques, mais de l'autre, ça nous ôte la contrainte d'avoir une lumière constante en arrière-plan. »

Pour conjuguer les meilleures propriétés des pièges magnétiques et optiques, l'équipe a utilisé une nouvelle conception expérimentale combinée pour ne plus avoir à déplacer les atomes d'un type de piège à l'autre. Des atomes de sodium et de lithium ont été refroidis à des températures très basses par une combinaison de techniques magnétiques et optiques. Pour former des molécules de NaLi, les chercheurs ont dû employer des pièges optiques. Cependant, comme ces molécules peuvent être piégées de nouveau par magnétisme à la formation, le faisceau laser a été omis.

En guise de validation de principe, les chercheurs ont utilisé ce piège novateur pour mesurer les chocs inélastiques entre les molécules. Leur succès inspire aujourd'hui l'exploration d'une myriade de phénomènes différents, comme l'étude de la réponse des molécules à l'introduction de lumière, l'étude contrôlée des réactions chimiques induites



par la lumière auparavant problématiques, ou l'exploration d'avenues pour prolonger la vie de ces molécules ultrafroides à l'aide de diverses méthodes de piégeage.  
« En étudiant ce que l'on considère comme l'ancienne méthode, nous découvrons de nouvelles voies d'avenir pour le travail avec ces molécules, s'enthousiasme le Pr Jamison.

Il est important de regarder en avant, certes, mais il ne faudrait pas perdre de vue les acquis du passé. Comme les gens avaient jadis des intérêts et des sujets différents, bien souvent, ils envisageaient les problèmes différemment ou avaient des solutions que nous avons aujourd'hui oubliées. »

December 13, 2023

## **Parlons quantique avec Melissa Henderson**

Basé sur une recherche publiée dans la revue *Nature Physics* le 14 août 2023

[Three-dimensional neutron far-field tomography of a bulk skyrmion lattice](#)

Melissa Henderson est chercheuse à l'IQC et au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo; elle s'intéresse à la diffusion des particules neutres – les neutrons – et à leur relation avec les matériaux quantiques.

Sa recherche, menée avec son directeur de thèse Dmitry Pushin, professeur à l'IQC et au Département de physique et d'astronomie, a récemment été publiée dans la revue *Nature Physics*, dans l'article « [Three-dimensional neutron far-field tomography of a bulk skyrmion lattice](#) ». Nous sommes allés à sa rencontre pour en apprendre plus.

### **Pouvez-vous expliquer le sujet de votre article?**

J'étudie des structures magnétiques à l'échelle nanométrique, appelées « skyrmions », que l'on trouve dans certains cristaux magnétiques. Elles se forment par l'alignement collectif des caractéristiques magnétiques d'atomes individuels qui spiralent pour former un tourbillon observable bien au-delà de l'échelle atomique.

En ce qui concerne les skyrmions magnétiques, le grand concept qui nous intéresse est la topologie. On peut voir cette dernière comme les déformations d'un objet continu, par exemple un ballon. On considérerait que la surface topologique d'un ballon qui ne présente aucun trou est de genre zéro : on peut l'étirer, le comprimer, mais il conserve toujours sa même structure sphérique continue, et donc sa même topologie. Si l'on veut modifier cette topologie, on peut introduire une forme de discontinuité, comme un trou. Pour ce faire, on apporte de l'énergie dans le système afin de crever le ballon.

Maintenant, au lieu de trous dans des ballons, la topologie des skyrmions est la mesure de leurs propriétés magnétiques – ce qu'on appelle le spin des électrons – et de la manière dont ils tournent et s'enroulent selon différentes orientations. On peut visualiser cette topologie en imaginant le spin d'un électron qui, dans la coupe transversale d'un skyrmion, s'enroule autour d'une sphère. En temps normal, le spin couvrira la sphère une seule fois en pointant tout droit vers l'extérieur depuis le centre, ce qui correspond à une topologie de genre un. Mais un skyrmion peut avoir une surface



dont le genre est d'un nombre entier plus grand, ce qui indique qu'il s'enroulera autour de la sphère plus d'une fois.

### **Qu'est-ce qui vous passionne de ce sujet?**

Mon travail m'amène à la fine pointe de la physique des neutrons et des matériaux quantiques et vient unifier les deux domaines pour repousser les limites de ce que nous comprenons et pouvons mesurer. C'est passionnant d'élaborer de nouveaux outils d'investigation et de caractérisation qui pourraient nous ouvrir des portes inédites sur les phénomènes magnétiques et révéler une physique nouvelle. J'aime aussi la possibilité de développer nos propres instruments et procédés de test à l'avant-garde de chaque domaine, car c'est là que se produisent les découvertes.

C'est tellement exaltant de savoir que nos constats et méthodes de mesure et de caractérisation pourraient transcender les techniques neutroniques et les systèmes de skyrmions pour permettre l'étude d'un ensemble bien plus vaste de phases topologiques et d'états d'excitation dans toute une gamme de matériaux quantiques présentant diverses longueurs, échelles, dimensions et interactions.

### **Pouvez-vous expliquer vos découvertes récentes?**

Avant nos travaux, les skyrmions s'étudiaient principalement à l'aide d'électrons et de rayons X, mais les deux ne peuvent mesurer que jusqu'à une certaine profondeur à l'intérieur des matériaux. Leur emploi comme outils de mesure signifiait donc qu'il fallait s'en tenir à des systèmes peu épais et géométriquement limités, ce qui change du tout au tout la forme, la taille et le trajet transitionnel des skyrmions.

Mais voilà que nous arrivons avec une nouvelle technique, appelée « diffusion des neutrons aux petits angles », qui ne présente pas les limitations fondamentales des électrons et des rayons X parce que les neutrons sont parmi les rares particules à pouvoir traverser un cristal de bonne taille (un « échantillon massif »). Cette technique a toutefois l'inconvénient de ne donner que la moyenne en 2D des moments magnétiques avec lesquels les neutrons ont interagi dans le matériau. Pour contrer ce problème et conserver l'information sur la profondeur, nous avons fait pivoter l'échantillon afin de prendre des mesures sous différents angles, un peu comme on s'y prend dans un tomodensitogramme pour produire une image 3D à partir de clichés pris en 2D par rayons X. C'est ainsi que nous sommes arrivés à visualiser les trois dimensions et les structures internes des skyrmions pour la première fois dans des échantillons cristallins massifs.

Il en résulte la première démonstration de la manière dont ces skyrmions tubulaires se forment et interagissent dans des systèmes massifs présentant des défauts topologiques, laquelle jette un éclairage nouveau sur leurs mécanismes de stabilisation ainsi que sur leurs parcours vers la nucléation et l'annihilation.

## Quels sont les effets concrets de vos travaux?

Il y a un domaine émergent, la spintronique (ou « électronique de spin »), qui encode l'information numérique à l'aide du spin des électrons plutôt que d'un courant électrique. À la lumière de nos travaux, on pourrait complètement repenser les modèles actuels en spintronique qui emploient les skyrmions pour en exploiter pleinement les trois dimensions : cela amènerait de nouvelles symétries, de nouveaux degrés de liberté et de nouvelles dynamiques par rapport à ce qui s'observe dans les systèmes restreints et limités en épaisseur.

Notre recherche nous fait entrer dans une nouvelle ère pour la caractérisation des matériaux quantiques massifs et pour la conception tridimensionnelle de dispositifs en spintronique qui exploitent les skyrmions. Qui plus est, elle dévoile de l'information fondamentale sur les défauts topologiques et les comportements en fonction de la phase, information qui pourra servir à comprendre toutes sortes de systèmes physiques allant des supraconducteurs aux cristaux liquides.

## Le lancement de l'avenir de la communication sécurisée

Basé sur une recherche publiée dans le rapport 2024 Global Futures de l'Université de Waterloo,  
22 janvier 2024

[Launching the future of secure communication](#)

### Des chercheurs de l'IQC sont à la tête du premier satellite quantique canadien pour protéger les données de demain

Dans notre monde de plus en plus numérique et interconnecté, des étudiants au cycle supérieur comme Kimia Mohammadi innovent constamment pour anticiper les risques émergents pour la sécurité. Elle fait partie de l'équipe nationale travaillant à la création du premier satellite quantique canadien, dont le lancement est prévu pour 2025. La mission du Satellite de cryptographie et physique quantiques (QEYSSat) sera d'établir une communication quantique sécurisée entre la Terre et l'espace.

« Le QEYSSat est un jalon important pour la technologie canadienne », note Kimia Mohammadi, étudiante au doctorat au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo et à l'Institut d'informatique quantique (IQC). « Je trouve si satisfaisant de voir que ma recherche contribue à l'avenir de la communication. »

À la barre de l'équipe scientifique nationale du QEYSSat se trouve Thomas Jennewein, directeur de recherche de Kimia Mohammadi, professeur au Département de physique et d'astronomie de Waterloo et membre du corps professoral de l'IQC. Par sa propre recherche, Thomas Jennewein vise à créer un Internet quantique mondial et à inventer les technologies nécessaires aux communications quantiques sécurisées basées sur satellite. Ses travaux mettent aussi en lumière les questions fondamentales de la physique quantique, à mesure qu'il explore l'intrication quantique sur de longues distances et à des vitesses élevées.

## La clé du cryptage quantique

Thomas Jennewein, Kimia Mohammadi et l'équipe du QEYSSat utilisent une technique appelée la « distribution quantique de clés » pour générer les clés cryptées transmises entre le satellite et les chercheurs sur Terre. Ces clés de chiffrement tirent parti d'une propriété de la mécanique quantique, selon laquelle on ne peut observer un état quantique sans le changer. En d'autres mots, si l'on observe ou l'on copie la clé quantique secrète, on y laisse une trace détectable, donc les chercheurs savent que la clé a été compromise et n'est plus sécurisée.

« Les signaux quantiques sont sûrs parce qu'ils ne peuvent pas être copiés. Toutefois, ils sont par le fait même difficiles à transmettre par des câbles à fibres optiques sur de longues distances, contrairement aux signaux classiques qui comptent sur la répétition et l'amplification du signal, explique Thomas Jennewein. Donc, pour réussir à transmettre un signal de DQC sur de longues distances, il faut utiliser des méthodes comme les satellites, qui ne dépendent pas de la répétition du signal. »

Grâce à la science affluant à l'IQC, le point d'ancrage de l'écosystème quantique au Canada, le QEYSSat communiquera avec les stations de recherche terrestres à l'Université de Waterloo et à l'Agence spatiale canadienne, qui se situe à Saint-Hubert, au Québec. Ces stations terrestres émettront des signaux quantiques grâce aux photons de lumière et les enverront au satellite. De tels satellites quantiques pourraient ensuite servir de relais de confiance pour transmettre les signaux entre les stations terrestres.

Un net avantage de cette configuration : comme les photons vont de la Terre au satellite, les équipes de recherche auront l'avantage de la flexibilité pour changer la source des photons ou mettre à jour l'appareil à mesure que d'autres technologies voient le jour. Kimia Mohammadi œuvre présentement pour que la station terrestre de Waterloo puisse localiser le satellite et communiquer avec ce dernier grâce à un télescope émetteur-récepteur qu'elle a construit dans le cadre de sa maîtrise et qui se situe sur le toit du bâtiment du Centre d'avancement de la recherche, dans le nord du parc de recherche et de technologie de Waterloo.

« Pas grand monde aimerait ça, se rendre au télescope à 2 heures du matin pour en aligner l'optique en fonction des étoiles ou suivre des objets comme la Station spatiale internationale, mais pour moi, c'est fascinant de faire chaque petit pas afin d'en arriver à une station terrestre pleinement fonctionnelle lorsque le satellite sera lancé. Thomas m'a donné la possibilité d'imaginer et de construire notre propre télescope, qui sera utilisé lors de nos prochaines expériences de communication spatiale libre. »

## Les satellites canadiens pour la sécurité quantique

Le lancement d'un satellite comme le QEYSSat relève de plusieurs disciplines. Des experts en physique jettent les fondations scientifiques de la démarche de communication quantique; les ingénieurs construisent les composants du satellite et veillent à ce qu'il survive au lancement et aux conditions hostiles de l'espace; et les partenaires sectoriels, notamment l'Agence spatiale canadienne et Honeywell, guident le lancement et la fabrication du satellite.





Tournés vers l'avenir, Kimia Mohammadi et Thomas Jennewein ont aussi exploré des scénarios réalistes pour les futurs satellites et relevé les lacunes technologiques actuelles dans le projet QEYSSat 2.0 afin d'établir les technologies nécessaires à la mise en place d'un Internet quantique au Canada.

Bien que sa mission soit de démontrer la distribution quantique de clés et la communication sécurisée vers un satellite, le QEYSSat pave la voie du Canada vers l'avant-scène de la communication sécurisée à l'ère quantique. En tant que projet entièrement canadien, il est axé sur la création d'un avenir où la sécurité et la souveraineté nationales sont prioritaires.

« Les gouvernements de partout dans le monde, y compris du Canada, ont récemment annoncé des stratégies quantiques nationales, fait valoir Thomas Jennewein. Dès que les ordinateurs quantiques seront en ligne, nos méthodes actuelles de cryptage deviendront potentiellement vulnérables, et les dirigeants mondiaux reconnaissent l'importance de comprendre la nouvelle réalité quantique et de s'y préparer. »

## **Une nouvelle technique pour déceler et contrôler de grand nombre de défauts à l'échelle atomique vise à améliorer la sensibilité des appareils de détection quantique**

Basé sur une recherche publiée dans PRX Quantum le 7 février 2024

[Control of an Environmental Spin Defect beyond the Coherence Limit of a Central Spin](#)

Des chercheurs de l'IQC, du MIT et de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign ont mis au point une technique leur permettant de déceler et de contrôler un grand nombre de défauts microscopiques dans le diamant. Présentée dans un article du *PRX Quantum* de cette semaine, elle permettrait aux chercheurs de bâtir un plus grand système de qubits capable d'effectuer une détection quantique plus sensible.

« J'ai le plaisir d'annoncer le plus récent jalon de notre parcours de détection quantique avec les défauts de spin dans les diamants. Nos travaux présentent des perspectives innovantes de caractérisation et de contrôle des défauts de spin au-delà de la limite de cohérence d'un spin central », explique Alexandre Cooper-Roy, associé de recherche à l'IQC et responsable technique principal pour le groupe de simulation quantique et l'initiative Transformative Quantum Technologies.

« En repoussant les limites de la détection quantique, nous offrons dans l'article une voie vers le renforcement des systèmes de spin dans les solides et l'utilisation de bains de spin comme ressource de détection rehaussée par la quantique. Cette percée présente un potentiel immense de révolutionner divers secteurs et domaines scientifiques. » Apprenez-en plus sur les découvertes récentes d'Alexandre Cooper-Roy dans [MIT News](#).

## **Un nouveau pas de franchi vers la communication quantique sécurisée à l'échelle planétaire**

Basé sur une recherche publiée dans la revue Communication Physics le 24 février 2024

## [Oscillating photonic Bell state from a semiconductor quantum dot for quantum key distribution](#)

### **Les chercheurs de l'Université de Waterloo réalisent des percées par la combinaison de concepts récompensés d'un prix Nobel**

Les chercheurs à l'IQC de l'Université de Waterloo ont jumelé deux notions de recherche récompensées par des prix Nobel pour avancer le champ de la communication quantique.

Les scientifiques pourront désormais produire de manière efficace une paire presque parfaite de photons intriqués en utilisant un point quantique comme source.


Les photons intriqués sont des particules de lumière qui restent connectées malgré leur vaste distance; des expériences à leur sujet ont reçu le prix Nobel de physique en 2022.

L'équipe de l'IQC a combiné cette intrication avec la technologie récompensée du prix Nobel de chimie 2023, appelée « boîte » ou « point » quantique, dans le but d'optimiser le processus de génération de photons intriqués pour toutes sortes d'applications, parmi elles la communication sécurisée.

« La combinaison d'une intrication élevée et d'un haut degré d'efficacité est nécessaire pour certaines applications particulièrement intéressantes, comme la distribution quantique de clés ou les répéteurs quantiques, qui devraient pouvoir rallonger à l'échelle planétaire la distance de communication quantique sécurisée, ou encore lier des ordinateurs quantiques à distance », explique Michael Reimer, Ph. D., professeur à l'IQC et au Département de génie électrique et informatique de Waterloo. « Les expériences menées à ce jour rapportaient soit des intrications presque parfaites, soit un haut degré d'efficacité, mais jamais les deux : nous sommes les premiers à le faire, grâce au point quantique. »

Ayant placé des points quantiques semiconducteurs dans un nanofil, les chercheurs ont pu créer une source qui produit des photons presque parfaitement intriqués avec un degré d'efficacité 65 fois supérieur à ce qui s'est fait précédemment. Cette nouvelle source, découverte en collaboration avec le Conseil national de recherches du Canada à Ottawa, peut être amenée dans un état excité à l'aide de lasers afin de générer une paire intriquée sur demande. Les chercheurs ont ensuite employé des détecteurs haute résolution à photon unique que lui a fourni l'équipe de Single Quantum, aux Pays-Bas, afin de maximiser l'intrication.

« Jusqu'ici, les systèmes à points quantiques souffraient de leur séparation en structure fine, qui faisait osciller leur état intriqué au fil du temps. Ainsi, si le système de détection était trop lent, on ne pouvait simplement pas prendre la mesure de l'intrication », relate Matteo Pennacchietti, doctorant à l'IQC et au Département de génie électrique et informatique de Waterloo. « Nous avons pu surmonter ce problème en combinant nos points quantiques à un système de détection aussi rapide que précis, grâce auquel nous pouvons essentiellement prendre un cliché de l'état intriqué à tous les points de l'oscillation et ainsi retrouver l'intrication parfaite. »



Pour démontrer les usages qui pourront être faits en communication, Michael Reimer et Matteo Pennacchiotti se sont adjoint des collaborateurs, soit Norbert Lütkenhaus, Ph. D., et Thomas Jennewein, Ph. D., tous deux membres du corps professoral de l'IQC et professeurs au Département de physique et d'astronomie de Waterloo, ainsi que leurs équipes. À l'aide de leur nouvelle source d'intrication, les chercheurs ont pu simuler la distribution quantique de clés (une méthode de communication sécurisée) et ainsi prouver la valeur du point quantique comme source pour la communication quantique sécurisée.

Leur étude, « [Oscillating photonic Bell state from a semiconductor quantum dot for quantum key distribution](#) », vient d'être publiée dans la revue *Communications Physics* par les membres de l'IQC Matteo Pennacchiotti, Michael Reimer, Thomas Jennewein, Norbert Lütkenhaus, Brady Cunard, Shlok Nahar et Sayan Gangopadhyay, avec l'aide de leurs collaborateurs Mohd Zeeshan, Philip Poole, Dan Dalacu, Andreas Fognini, Klaus Jöns et Val Zwiller.

## **Comprendre les limites de sécurité réalistes de la distribution quantique de clés**

Basé sur une recherche publiée dans la revue PRX Quantum le 10 octobre 2023 [Finite-size security for discrete-modulated continuous-variable quantum key distribution protocols](#)

Méthode de cryptographie quantique couramment étudiée, la distribution quantique de clés (DQC) permet de générer, à l'aide d'états quantiques, des clés secrètes qui peuvent ensuite servir à sécuriser la communication entre deux utilisateurs. Les principes fondamentaux de la mécanique quantique font en sorte que l'on peut sécuriser les clés produites par les protocoles de DQC contre les interceptions, une protection qui s'étend aux communications subséquentes reposant sur les clés secrètes.

Les protocoles de DQC utilisent deux types de détecteurs de photons : des détecteurs monophotoniques produisant des résultats simples de type clic/pas de clic (variables discrètes), ou des détecteurs mesurant des quantités continues de signaux quantiques. Norbert Lütkenhaus, Ph. D., directeur général de l'Institut d'informatique quantique (IQC) et professeur au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, étudie actuellement avec des membres de son groupe de recherche un sous-domaine de la DQC utilisant de faibles impulsions de lumière laser combinées avec des mesures continues, que l'on appelle la distribution quantique de clés à variables continues (DQC-VC).

« La DQC-VC est digne d'être étudiée; comme elle ne nécessite ni satellites ni détecteurs monophotoniques massifs devant être refroidis, elle laisse entrevoir une option moins coûteuse. De plus, elle offre des avantages sur le plan de la performance, particulièrement dans la fourchette basse à moyenne, fait valoir Florian Kanitschar, qui vient de terminer sa maîtrise à l'IQC sous la supervision de Norbert Lütkenhaus. Mes



travaux visaient à trouver une preuve de sécurité dans le régime de dimension finie à partir de recherches antérieures du groupe. »

En théorie, la DQC-VC présente un éventail continu et infini d'états quantiques possibles. Or, en pratique, les états utilisés pour l'échange d'information n'en représentent qu'une petite fraction. Un processus appelé DQC-VC à modulation discrète limite le nombre d'états possibles utilisés pour générer une quantité dénombrable de clés quantiques. La sécurité de ce programme a été prouvée, mais seulement dans le scénario irréaliste où l'expéditeur et le destinataire peuvent répéter le protocole à l'infini, c'est-à-dire en régime asymptotique.

Dans un récent projet du groupe de Norbert Lütkenhaus, les chercheurs ont étudié la DQC-VC à modulation discrète dans le régime de dimension finie, où l'expéditeur et le destinataire échangent un nombre fini de signaux quantiques, et ont montré comment calculer la borne inférieure (ou le minimum) du taux secret d'une clé. Si le taux de chaque clé varie selon le montage expérimental et le cas, un taux supérieur à zéro peut être considéré comme sécuritaire et utile dans des scénarios réalistes.

La découverte de taux de clé sécuritaires dans ce régime dit de dimension finie est importante pour les applications pratiques de la DQC. En plus des régimes de dimension infinie ou finie qui décrivent le nombre de signaux quantiques échangés, une autre variable d'infinité est à considérer : la dimension de l'état quantique. Si les protocoles de DQC-VC nécessitent des espaces à dimension infinie à décrire mathématiquement, en pratique, les ordinateurs utilisés pour calculer les taux secrets sécuritaires sont des espaces finis à dimension réduite.

« Si on la compare à celle de la cryptographie classique, la sécurité de la DQC en particulier promet d'être très robuste. C'est pourquoi en matière de preuve de sécurité, il nous faut être très prudents. Nous ne pouvons pas trancher "au petit bonheur la chance"; il nous faut trouver une manière de lier la dimension *réelle* du problème, explique Florian Kanitschar. Notre idée était d'élaborer et d'utiliser un test d'énergie, soit un genre de procédure statistique qui fait en sorte que l'espace étudié contient presque toute l'information des états quantiques étudiés. Et pour inclure l'information restante, on peut utiliser une technique de réduction de dimensionnalité élaborée par le groupe de Norbert Lütkenhaus. »

Ce premier test d'énergie proposé pour la DQC-VC à modulation discrète a fait passer le problème d'une dimension infinie à une dimension finie, ce qui a permis de franchir une étape cruciale pour prouver la sécurité dans le régime de dimension finie – et d'enfin prouver cette sécurité.

« Nous travaillons actuellement avec des groupes expérimentaux en Allemagne et au Danemark pour mettre nos preuves de sécurité théoriques en pratique dans des montages expérimentaux, explique Norbert Lütkenhaus. Nos travaux contribuent à explorer les limites de l'approche de DQC-VC. Il sera intéressant de voir si les promesses de mécanismes de DQC simplifiés reposant sur de l'équipement de télécommunication



optique plus standard peuvent être remplies dans des applications pratiques et ainsi nous aider à déployer plus largement la DQC. »

## **Prévisions de recherche : dessiner l'avenir des technologies quantiques**


S'il est judicieux de souligner les récentes avancées et percées de la recherche à l'IQC, il est tout aussi important de démontrer le rôle central que l'Université de Waterloo et l'IQC joueront dans l'avenir de la science quantique au Canada. En 2023-2024, les chercheurs de l'établissement ont fait avancer des programmes de recherche reconnus au pays et à l'étranger comme essentiels à la prospérité universitaire, sociale et économique du Canada.

En mars 2024, quatre chercheurs de l'Université de Waterloo, dont [Michael Reimer](#), membre du corps professoral de l'IQC, ont reçu des fonds du gouvernement de l'Ontario pour des travaux novateurs variés, du nettoyage de mines contaminées à l'arsenic à l'exploitation de l'intelligence artificielle pour protéger de précieuses données financières.

Ce financement provient du Fonds pour la recherche en Ontario, consacré au développement de technologies et produits innovants. Il appuiera les chercheurs sur plusieurs plans : attrait de grands talents; couverture des coûts des activités; projets de construction, de rénovation ou d'acquisition de technologies de pointe dans les installations de recherche; etc.

Michael Reimer a reçu 1,7 million de dollars pour créer une caméra spécialisée qui facilitera la prise efficace de photos de l'œil humain.

« Cette bourse nous permettra de concevoir des caméras et des détecteurs à photon unique efficaces et portables, qui seront en mesure de détecter des photons uniques sur une gamme de longueurs d'onde inégalée, y compris la gamme d'intérêt pour l'imagerie de l'œil, auparavant limitée par les technologies de détection, explique Michael Reimer. Cette nouvelle technologie pourrait aider les ophtalmologistes à déceler des éléments importants dans le tissu de l'œil, et donc à détecter des maladies plus tôt. »



Le programme national Killam, administré par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), a annoncé qu'[Adam Wei Tsen](#) était lauréat d'une [bourse Dorothy Killam 2024](#). Ce prestigieux honneur, d'une valeur de 80 000 \$ sur une période maximale de deux ans, aide les chercheurs à se consacrer à des projets de recherche exceptionnels, révolutionnaires et de premier ordre susceptibles d'avoir un effet significatif à l'échelle nationale ou mondiale.

Ce professeur de l'IQC se consacre à l'étude de divers matériaux quantiques bidimensionnels et à la fabrication de nouvelles molécules magnétiquement actives pour des applications de matériaux quantiques, comme l'informatique et l'information quantiques.

Figure de proue émergente de l'étude des matériaux bidimensionnels, M. Tsen s'est donné l'ambitieux objectif de produire, de détecter et de contrôler électriquement des magnons cohérents au point où le magnon se condense en un aimant bidimensionnel pour la première fois. Il s'agit d'une importante étape vers la création et l'intégration de la magnonique quantique bidimensionnelle dans les systèmes hybrides quantiques sur puce.


Dans ses travaux, actuellement freinés par la pénurie de matériaux magnétiques, les aimants bidimensionnels servent de plateforme puissante pour le développement de la magnonique quantique. La classe d'aimants bidimensionnels nouvellement découverte promet d'énormes possibilités inédites.

[Jonathan Baugh](#), membre du corps professoral de l'IQC, a reçu 1 481 200 \$ pour diriger un projet de recherche sur l'usage de sources photoniques de prochaine génération pour la détection et les communications quantiques à distance. Le projet utilisera des appareils semiconducteurs de pointe pour créer sur demande de nouvelles sources de photons uniques ayant des propriétés hors du commun – par exemple, la capacité de se moduler entre une émission monophotonique ou biphotonique – qui peuvent être déployées à l'échelle d'un tableau sur puce.

« Nous avons hâte de travailler avec nos partenaires gouvernementaux, privés et universitaires sur la prochaine génération de sources photoniques à l'état solide qui pourront être utilisées dans la métrologie et la détection quantiques », déclare Jonathan Baugh.

[Adrian Lupascu](#), membre du corps professoral de l'IQC, a reçu 1 137 724 \$ pour un projet de développement d'une plateforme d'informatique quantique supraconductrice adaptable à partir de qubits de fluxonium. Il tâchera d'établir des programmes de recherche pour le développement de matériel informatique quantique et axera son travail sur le repérage des possibilités d'amélioration dans la conception des appareils et la qualité des matériaux pour en arriver à des processeurs quantiques supraconducteurs de plus en plus cohérents.

« Cette collaboration avec D-Wave Quantum est une occasion sans pareil d'explorer les fondements de la physique dans une nouvelle génération de qubits supraconducteurs »



afin de créer de toutes nouvelles architectures d'informatique quantique », se réjouit Adrian Lupascu.

David Cory, membre du corps professoral de l'IQC, a obtenu 2 980 789 \$ pour son projet *Quantum Enhanced Navigation* (QuNav), consacré au développement et au déploiement d'outils de navigation avancés pour les environnements sans GPS. Ce projet utilise l'ingénierie quantique pour créer des outils compacts de navigation à l'estime d'une grande précision et fiabilité. Les outils ainsi produits auraient des applications potentielles dans la navigation à la fois aérienne et sous-marine, et pourraient même faire avancer la robotique chirurgicale et logistique.

Enfin, le projet de Chris Wilson, *Microwave Quantum Radar*, a reçu 3 000 000 \$. En collaboration avec [Qubic inc.](#), [Zero Point Cryogenics Inc.](#) et l'[Université Carleton](#), l'équipe œuvre à l'avancée de la détection quantique.

« Le programme IDEeS est tout à fait unique; il rassemble les secteurs universitaire et privé dans des projets conjoints où tous travaillent ensemble vers un objectif central, s'enthousiasme Chris Wilson, aussi professeur au Département de génie électrique et informatique de Waterloo. Nous sommes très heureux d'avoir été sélectionnés, et nous avons hâte de travailler avec l'équipe pour concrétiser les applications de la détection quantique. »

Plusieurs membres du corps professoral de l'établissement ont également reçu cette année des fonds du Programme de subventions à la découverte et du Programme de subventions d'outils et d'instruments de recherche du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). Les subventions à la découverte permettent aux chercheurs de poursuivre des objectifs à long terme, de même que de former les étudiants aux cycles supérieurs et d'encadrer les stagiaires postdoctoraux. Voici les professeurs bénéficiaires et leurs projets :

Raffi Budakian : Travaux sur la structure et les dynamiques des systèmes de spin à l'état solide au moyen de la nano-imagerie par résonance magnétique (nano-IRM)

Thomas Jennewein : Aménagement de la station terrestre d'optique quantique pour le QEYSSat

Norbert Lütkenhaus : Distribution quantique de clés à toute épreuve

Ashwin Nayak : Algorithmes et protocoles quantiques performants

Kevin Resch : Technologies quantiques optiques expérimentales pour l'intrication ultrarapide, la simulation photonique et la causalité quantique

En 2022, le CRSNG a lancé un appel de propositions pour renforcer la capacité de recherche et d'innovation en quantique du Canada, conformément à la Stratégie quantique nationale. C'est ainsi que sont nées les [subventions en quantique du](#)

[programme Alliance](#), visant à créer des partenariats entre les équipes de recherche universitaires et les organismes publics, privés et à but non lucratif.

[Na Young Kim](#), professeure à l'IQC et au Département de génie électrique et informatique de l'Université de Waterloo, dirige un projet qui lui a valu plus d'un million de dollars de ces subventions.

Il ne s'agit là que de quelques exemples des projets de l'IQC qui reçoivent du financement. En outre, nombre des membres du corps professoral nommés ont reçu plusieurs autres bourses au cours de l'année, de divers ordres de gouvernement représentant différents organismes publics ainsi que de collaborations avec des partenaires privés au pays. On retiendra que de multiples organismes fédéraux, gouvernements provinciaux, partenaires privés et établissements universitaires du Canada ont examiné le paysage national de la quantique et déterminé que l'IQC était le meilleur endroit où investir dans l'avenir de celle-ci. En plus de la recherche de premier plan réalisée, le financement récompense dans de nombreux cas la capacité unique au Canada qu'a l'IQC de fournir le nombre croissant de chercheurs et de professionnels dont nous aurons besoin pour tirer parti des découvertes révolutionnaires qui se font à Waterloo.

## **Recrutement – Professeurs**

En parallèle de ses activités de recherche et de formation, l'IQC tâche chaque année d'attirer de nouveaux chercheurs théoriques et expérimentaux de calibre mondial issus de diverses disciplines. Son corps professoral compte 30 membres talentueux qui collaborent à résoudre certains des problèmes les plus complexes de l'histoire de la science, une richesse qu'il tient à conserver.



Ainsi, l'IQC travaille activement au recrutement de son corps professoral et fait preuve d'un grand soin pour ne retenir que la crème des professeurs et des associés de recherche. Recruté en 2023, le [Pr Bradley Hauer](#) est arrivé à l'IQC en avril 2024. Aussi membre du corps professoral au Département de génie électrique et informatique de Waterloo, l'homme s'intéresse aux systèmes optomécaniques en cavité et aux circuits supraconducteurs. Précédemment, il faisait partie du groupe de photonique micro-onde avancée du National Institute of Standards and Technology (NIST) à Boulder, au Colorado.

## **Recrutement – Membres associés**

Au-delà de son corps professoral, l'IQC encourage le partage interdisciplinaire de la recherche en quantique avec ses départements partenaires, en finançant le recrutement

temporaire d'un large éventail d'experts afin de leur permettre de se concentrer sur l'intersection de leurs programmes de recherche avec la quantique.



À compter de mai 2024, Sam Jaques, professeur agrégé au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo, sera membre associé de l'IQC pour une période de cinq ans. Il s'intéresse particulièrement à la cryptographie et à ses répercussions sur la vie privée et l'anonymat. Les questions de cryptographie entourant l'informatique quantique soulignent d'ailleurs l'urgence de ses études sur les risques que posent les ordinateurs quantiques à grande échelle pour les méthodes cryptographiques actuelles. Il s'agit d'un retour au bercail pour Sam Jaques, qui avait fait sa maîtrise en mathématiques à l'IQC sous la supervision d'Alfred Menezes et de Michele Mosca avant son doctorat à Oxford.

### **Recrutement – Anciens de l'IQC dans des postes de professorat**

La demande canadienne et mondiale de personnel hautement qualifié est de taille : selon les estimations de McKinsey, ce sont environ 50 % des postes qui sont restés vacants en 2023. L'IQC est l'un de quelques instituts qui génèrent ce personnel en proportion appréciable, et ses diplômés sont fort prisés. Dans la dernière année, plusieurs de ses anciens membres ont su briller.

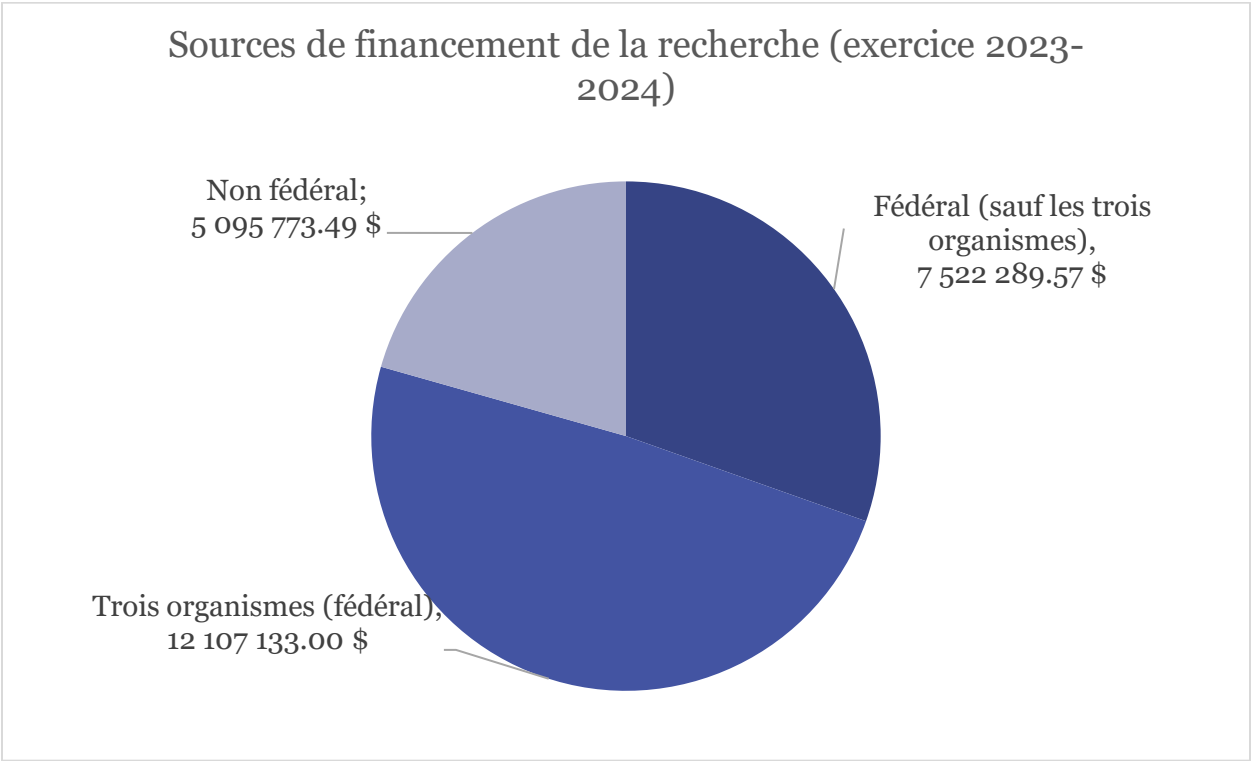
L'ancien associé de recherche Dusan Sarenac est désormais professeur adjoint à l'Université de Buffalo. Il continue d'entretenir une relation étroite avec l'IQC et a récemment signé des publications avec David Cory et Dmitry Pushin, en plus de concevoir une entreprise en démarrage avec ce dernier et Connor Kaphahi. Erika Janitz, ancienne étudiante de l'IQC, est devenue professeure au Département de génie électrique et logiciel à l'Université de Calgary. Soulignons aussi le travail de Matt Amy, qui a obtenu deux diplômes d'études supérieures à l'IQC et est aujourd'hui professeur adjoint en informatique à l'Université Simon-Fraser, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en informatique quantique et, depuis peu, boursier affilié du Quantum Algorithms Institute.

Ce ne sont bien sûr pas les seuls anciens qui se sont démarqués récemment, mais leur exemple montre que le rayonnement de l'IQC sur la scène quantique locale et pancanadienne s'étend au-delà de Waterloo. L'établissement continue de former et de mentorer la prochaine génération de chercheurs en quantique, au pays comme à l'international.



## Bourses et chaires de recherche

Entre le 1<sup>er</sup> avril 2023 et le 31 mars 2024, les chercheurs de l'IQC ont obtenu un total de 24 725 196 \$ pour leurs projets. Ce financement provient de sources diverses, dont des chaires de recherche, le gouvernement du Canada, la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI), des partenaires privés et plus. Notons que la contribution du secteur privé s'est élevée à près de 620 000 \$ en 2023-2024, soit presque le double du montant de 2022-2023.



Les travaux des professeurs de l'IQC ont un rayonnement important à l'échelle mondiale, comme le démontrent les multiples reconnaissances et prix prestigieux obtenus. Ces distinctions renforcent la réputation exceptionnelle de l'IQC et du Canada dans le milieu de la science de l'information quantique. Voici certains des prix décernés aux professeurs en 2023-2024 :

Professeur	Bailleur de fonds
Adam Wei Tsen	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
	Université d'Ottawa
	Bureau de recherche de l'armée américaine
Adrian Lupascu	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	RDDC (Recherche et développement pour la défense Canada)

	Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory)
	RNCan (Ressources naturelles Canada)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Alan Jamison	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Ashwin Nayak	Mitacs (Mathematics of Information Technology and Complex Systems)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
	Université d'Ottawa (Consortiums en quantique du programme Alliance du CRSNG)
Bradley Hauer	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Christine Muschik	CIFAR (Institut canadien de recherches avancées)
	MCU (ministère des Collèges et Universités)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
	UW (Université de Waterloo)
Christopher Wilson	FCI (Fondation canadienne pour l'innovation)
	MDN (ministère de la Défense nationale)
	RDDC (Recherche et développement pour la défense Canada)
	Université Laurentienne
	Mitacs (Mathematics of Information Technology and Complex Systems)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Crystal Senko	FCI (Fondation canadienne pour l'innovation)
	PCRC (Programme des chaires de recherche du Canada)
	MCU (ministère des Collèges et Universités)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
	Commanditaires divers (contribution en nature de la FCI)
David Cory	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	MDN (ministère de la Défense nationale)
David Gosset	CIFAR (Institut canadien de recherches avancées)
	IBM – États-Unis
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Debbie Leung	Université d'Ottawa (Consortiums en quantique du programme Alliance du CRSNG)
Dmitry Pushin	Université de l'Indiana
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Guo-Xing Miao	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Jon Yard	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Jonathan Baugh	Mitacs (Mathematics of Information Technology and Complex Systems)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
	Université de la Colombie-Britannique (Consortiums en quantique du programme Alliance du CRSNG)
Kazi Rajibul Islam	MCU (ministère des Collèges et Universités)



	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Kevin Resch	CNRC (Conseil national de recherches)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Matteo Mariani	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Michael Reimer	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	MCU (ministère des Collèges et Universités)
	Mitacs (Mathematics of Information Technology and Complex Systems)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Michal Bajcsy	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Michele Mosca	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
	CNRC (Conseil national de recherches)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Na Young Kim	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Norbert Lütkenhaus	MDN (ministère de la Défense nationale)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
	Université de l'Alberta (Consortiums en quantique du programme Alliance du CRSNG)
Raffi Budakian	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Raymond Laflamme	Mitacs (Mathematics of Information Technology and Complex Systems)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Richard Cleve	Université d'Ottawa (Consortiums en quantique du programme Alliance du CRSNG)
Shalev Ben-David	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
Thomas Jennewein	Agence spatiale canadienne
	MDN (ministère de la Défense nationale)
	INRS (Institut national de la recherche scientifique)
	CNRC (Conseil national de recherches)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)
William Slofstra	Université de l'Alberta (Consortiums en quantique du programme Alliance du CRSNG)
	CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada)

L'IQC compte aussi des titulaires de chaires de recherche :

- Raymond Laflamme, chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis (2017-2027)
- Christine Muschik, chaire de recherche de l'université (2022-2027)
- William Slofstra, chaire de recherche de l'université (2022-2027)
- Crystal Senko, chaire de recherche du Canada (2020-2025)

- David Cory, lauréat des chaires d'excellence en recherche du Canada (2017)
- Raffi Budakian, chaire fondée de l'Université de Waterloo sur les nanotechnologies (2014-en cours)
- Pierre-Nicholas Roy, membre affilié à l'IQC, chaire de recherche du Canada (2017-2027)

Sans oublier les anciens titulaires :

- Debbie Leung, chaire de recherche de l'université (2015-2022)
- Michele Mosca, chaire de recherche de l'université (2012-2022)
- Raymond Laflamme, chaire de recherche du Canada (2002-2022)
- Kevin Resch, chaire de recherche du Canada (2013-2023)
- Roger Melko, membre affilié à l'IQC, chaire de recherche du Canada (2018-2023)

## **Infrastructure – Mike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centre (QNC)**

En date de mars 2024, le QNC compte 16 laboratoires de recherche opérationnels.

Voici ceux qui ont été retenus :

- |   |   |
|---|---|
| • Laboratoire de dispositifs photoniques quantiques           | • Laboratoire d'ingénierie de systèmes quantiques             |
| • Laboratoire de distribution quantique de clés par satellite | • Laboratoire de nanoélectronique intégrée                    |
| • Laboratoire de vérification quantique                       | • Laboratoire de matière quantique et de lumière ultrafroides |
| • Laboratoire de matière quantique numérique                  | • Laboratoire de groupe d'optique et d'information quantiques |
| • Laboratoire de nanophotonique et d'optique quantique        | • Laboratoire d'informatique quantique avec des ions piégés   |
| • Laboratoire de contrôle quantique d'ions piégés             |   |

L'IQC continue d'améliorer ses infrastructures. Par exemple, le laboratoire de Chris Wilson a acquis un équipement partagé important qui permettra des avancées dans les travaux sur la détection quantique de plusieurs membres du corps professoral : un cryostat à température ultrafroide, appelé réfrigérateur à dilution, fourni par la jeune entreprise canadienne Zero Point Cryogenics, installée à Edmonton.



En outre, David Cory, Jonathan Baugh et Chris Wilson ont fait appel à plusieurs partenaires, dont l'initiative TQT et la FCI, pour acquérir un grand nombre d'appareils électroniques de contrôle des qubits. Les appareils ont été livrés en janvier 2023; l'équipe travaille encore à les mettre en service.


## **Infrastructure – Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques (QNFCF)**

La QNFCF est responsable de trois laboratoires de métrologie nanométrique quantique : un laboratoire de microscopie électronique à transmission, un laboratoire de faisceau ionique focalisé et un laboratoire de préparation d'échantillons secs. Cette année, les utilisateurs enregistrés ont accumulé 42 481 heures sur les équipements indépendants de la QNFCF, accessibles aux chercheurs des secteurs public, privé et universitaire. C'est là un record d'utilisation pour le laboratoire. La demande des secteurs universitaire et privé continue d'ailleurs de susciter un vif intérêt chez divers groupes de l'Ontario et du Canada.

- En plus du nombre d'heures record (42 481 heures), le laboratoire a enregistré un total d'utilisateurs presque aussi élevé que son record de l'an passé – 215 contre 232 en 2022-2023 –, y compris 39 chercheurs du secteur privé.
- Le nombre d'heures de service investies par le personnel est pour sa part passé de 150 heures en 2022-2023 à 276 heures en 2023-2024. Cette augmentation est due à l'acquisition, par les étudiants de l'IQC, d'aptitudes en laboratoire spécialisées grandement recherchées dans le milieu.
- La demande augmente pour des installations de laboratoire de pointe au pays; les locaux de la QNFCF ont servi cette année à 85 groupes de recherche (68 universitaires et 17 privés).
- Au total, 24 établissements (7 universités et 17 établissements privés) ont utilisé la QNFCF, dont l'Université de Toronto, l'Université de l'Alberta et Université de la Colombie-Britannique.
- Le personnel a investi 960 heures pour former les chercheurs à l'utilisation du matériel de la QNFCF.
- Plus de 4 600 heures d'utilisation ont été enregistrées par des entreprises privées en pleine expansion, dont Opalux Inc. (Mississauga), Omniply Technologies (Montréal) et Photonic Inc. (fondée à l'Université de la Colombie-Britannique).

En plus de travailler avec des entreprises privées et d'autres universités sur un catalogue croissant de projets, la QNFCF continue de collaborer étroitement avec l'IQC sur divers projets de recherche.

En 2023-2024, plusieurs scientifiques de la QNFCF (spécialiste de la lithographie par faisceau d'électrons, microscopiste principale et autres) ont travaillé en partenariat avec



le groupe de recherche sur les dispositifs photoniques quantiques (Michael Reimer) pour élaborer une nouvelle technique de manipulation des nanofils qui s'avère prometteuse pour la production de sources de lumière quantiques reposant sur la technologie des points quantiques. Les nanofils à points quantiques en phosphore d'indium produisent sur demande des photons uniques et des paires de photons enchevêtrés. Traditionnellement, ils arrivaient à émettre la moitié des photons produits, et l'autre moitié était perdue dans le substrat.

La nouvelle méthode de la QNFCF prévient cette perte en ayant recours à la microscopie à balayage par faisceau ionique focalisé pour déplacer les nanofils en phosphore d'indium (avec points quantiques en phosphore d'arséniure d'indium intégrés) du substrat où ils sont générés vers un substrat métallique réfléchissant. Elle vient ainsi plus de doubler la production de photons utilisables. Cette méthode surmonte plusieurs obstacles : manipulation de nanofils de 6 micromètres de hauteur et de 200 nanomètres de diamètre, vibrations perturbatrices causées par le mouvement de la valve du système d'injection de gaz, et manque de perception de la profondeur dû à l'imagerie par faisceau électronique utilisée dans les manipulations.

Néanmoins, un processus à rendement élevé a pu être élaboré pour la transplantation des nanofils, ce qui offre une nouvelle technique intéressante pour créer des sources de lumière quantiques à haute émission de photons qui seront employées dans l'informatique, la cryptographie et l'optique quantiques.


L'IQC et l'initiative Transformative Quantum Technologies (TQT) du fonds Apogée financent les activités de la QNFCF, ayant fourni plus de 1,1 million de dollars en 2023-2024 pour couvrir les salaires, l'acquisition d'équipement, les contrats d'entretien du matériel et d'autres coûts engendrés par les laboratoires de pointe.

## **Infrastructure – Centre d'avancement de la recherche (RAC)**

En date du 31 mars 2022, on trouvait sept laboratoires de recherche opérationnels dans le RAC, dont six chapeautés par un chercheur principal :

- Laboratoire de matériaux et dispositifs quantiques
- Laboratoire de dispositifs photoniques quantiques
- Laboratoire d'innovation quantique (QuIN)
- Laboratoire de photonique quantique
- Laboratoire d'électronique de spin cohérente
- Laboratoire d'imagerie nanométrique par résonance magnétique
- Espace d'exploration quantique

Bien que l'Espace d'exploration quantique n'ait pas de chercheur principal attitré, il demeure un laboratoire impressionnant et utile pour les étudiants à la maîtrise ès



sciences en physiques (technologies quantiques), programme offert par l'Université de Waterloo en partenariat avec l'IQC et l'initiative TQT. Deux des trois cours en laboratoire nécessaires à l'obtention de ce diplôme s'y donnent, et les trois exigences de laboratoire peuvent y être satisfaites. Qui plus est, l'endroit donne aux étudiants et aux visiteurs de l'IQC accès à de vrais systèmes quantiques propres à la recherche pour mener des expériences et cultiver leurs connaissances, par exemple dans le cadre d'ateliers conjoints de l'IQC et du secteur privé explorant les applications potentielles de la quantique dans ce dernier. Des groupes du secondaire et du premier cycle qui participent aux programmes de vulgarisation, comme la Quantum School for Young Students (QSYS) ou l'Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing (USEQIP), utilisent aussi l'Espace d'exploration quantique pour réaliser des manipulations poussées sur de vrais systèmes.

Afin de continuer à bien remplir sa mission, cet espace unique s'est doté de deux nouveaux spectromètres de résonance magnétique nucléaire (RMN) de table qui lui permettront d'élargir son programme de technologies quantiques et d'accueillir de plus grands groupes lors de ses activités de vulgarisation scientifique. Les nouveaux systèmes ont un champ magnétique de 1,5 T pouvant servir à explorer les dynamiques quantiques d'un maximum de trois qubits; ils sont un banc d'essai pour le traitement expérimental de l'information quantique.

Toujours aux fins du programme de technologies quantiques et des activités de vulgarisation, l'Espace d'exploration quantique a aussi acquis du matériel supplémentaire pour l'étude des centres azote-lacune. Le tout facilitera les activités de formation à la détection quantique (en partenariat avec Velocity) et a été intégré au programme du cours de technologies quantiques de l'automne.

Enfin, le laboratoire dispose désormais d'une infrastructure de récupération de l'hélium qui servira pour un cryostat à bain d'hélium liquide. Un nouveau cryostat commandé l'an passé et reçu à l'automne est en cours de configuration. À l'heure actuelle, les installations sont dotées d'un système cryogénique opérationnel pour la caractérisation et l'enseignement avec divers appareils quantiques à basse température (films minces, jonctions Josephson, résonateurs hyperfréquences supraconducteurs), qui sera utilisé dans le cours de technologies quantiques à basse température au printemps.

## Collaborations et recherche de nouveaux partenariats


La communauté de recherche de l'IQC accorde une grande importance à la collaboration, tant avec d'autres groupes de recherche et universités qu'avec le gouvernement, les organismes à but non lucratif et les organisations privées. En 2023-2024, les professeurs de l'IQC ont rapporté 187 collaborations actives avec au moins 150 organisations différentes de partout dans le monde. La liste suivante donne des exemples d'universités, d'instituts de recherche, d'entreprises privées et d'organismes gouvernementaux partenaires. La liste complète des collaborations se trouve à l'annexe D (page 89).

- Qubic
- Google Quantum AI
- Conseil national de recherches du Canada
- IBM
- Pasqal
- Institut national d'optique (Canada)
- Collège universitaire de Londres
- 1QBit
- SERENE-RISC
- Université de la Colombie-Britannique
- Université de Georgetown
- Université Simon-Fraser
- Université Western Ontario
- ETH Zurich
- Université de Chicago
- PINQ2
- Université Cornell
- NASA Jet Propulsion Laboratory
- TRIUMF
- Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI)
- Quantum Algorithms Institute (Colombie-Britannique)
- Institut quantique
- Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- Université nationale de Singapour
- Université du Texas à Austin
- Xanadu Computing Technologies
- D-Wave Systems

En plus de préserver et de cultiver ces relations établies, les chercheurs et parties prenantes de l'IQC sont toujours en quête de nouveaux partenariats qui contribueraient aux objectifs de recherche stratégiques. Des discussions à cet effet ont d'ailleurs eu lieu avec plusieurs groupes cette année :


- **Gouvernement du Canada :** L'équipe de direction de l'IQC rencontre régulièrement des représentants du gouvernement fédéral. En tant que fer de lance de l'information quantique au pays, l'IQC est financé par l'État et travaille avec le gouvernement pour le conseiller sur les avancées et l'incidence de la





recherche sur la science et les technologies de l'information quantique. Si la direction de l'IQC communique directement avec plusieurs ministères, son corps professoral n'est pas en reste : il leur prodigue des conseils techniques directs. Notamment, les professeurs Pushin, Lupascu et Cooper-Roy ont préparé un livre blanc à l'intention de RNCAN sur les avantages des technologies quantiques pour la science géophysique et l'exploration et la surveillance des ressources naturelles. Les professeurs Bajcsy, Muschik et Pushin se sont aussi inspirés de discussions en cours pour rédiger une proposition faisant valoir que de nouvelles installations neutroniques favoriseraient l'étude des matériaux, de la détection et de l'informatique quantiques au Canada.

- **Gouvernements étrangers :** Le Canada est un chef de file mondial en matière de science et technologies de l'information quantique. Sa renommée internationale fait de l'IQC un lieu de prédilection pour accueillir des visiteurs d'autres pays hébergeant des installations et des instituts de quantique avancés à la recherche de collaborations continues. En 2023-2024, il a reçu des représentants du ministère de la Défense de Singapour, accompagnés de la direction adjointe des systèmes et technologies d'avenir et de personnel technique du laboratoire des sciences physiques. L'IQC entretient une relation de longue date avec l'Université nationale de Singapour et son Centre for Quantum Technologies, de même qu'avec l'Université de technologie de Delft et QuTech. Il a par ailleurs accueilli des représentants des Pays-Bas cette année, soit le consulat général et la direction de l'organisme néerlandais d'investissement à l'étranger. Enfin, il a reçu une délégation de la Corée comprenant la direction de l'intelligence artificielle logicielle et divers chefs d'équipe. L'établissement contribue ainsi aux liens entre le Canada et ces nations partenaires, qui ont toutes un intérêt direct dans ses travaux (commerce, collaboration universitaire ou rayonnement scientifique).
- **Grandes multinationales :** L'IQC est un carrefour pour les jeunes entreprises, et la QNFCF est un point d'attrait pour les nouveaux acteurs commerciaux partout au Canada. Mais l'IQC attire aussi les plus grandes entreprises axées sur la quantique au monde. En 2023-2024, il a reçu des visiteurs d'IBM, d'Apple et de Google Quantum AI, ainsi que des représentants de grandes multinationales qui ne sont pas axées sur la quantique, mais s'intéressent tout de même à son avenir. Cette année, il a notamment accueilli des visiteurs de NTT Research, Ernst & Young et Sandia National Laboratories, ce qui démontre la grande diversité des milieux anticipant des retombées économiques à court terme. Ces relations favorisent les échanges d'information, et parfois même de personnel, entre l'IQC et ses partenaires. Outre leur financement complémentaire à celui du gouvernement canadien, ces entreprises apportent parfois des ressources d'une grande valeur aux chercheurs de l'IQC, par exemple l'accès à un ordinateur quantique fonctionnel.
- **Entreprises émergentes axées sur la quantique :** En plus de ses collaborations avec les plus vastes entreprises du monde, l'IQC travaille à des projets financés par des entreprises émergentes de partout, dont les entreprises



canadiennes Xanadu Computing Technologies, 1QBit, Anyon Systèmes inc., Photonic Inc. et Crypto4A et les entreprises internationales Zapata Computing et KETS Quantum Security Ltd. Nombre de ces entreprises entretiennent des liens étroits avec l'IQC, leurs fondateurs ayant déjà travaillé ou étudié à l'Université de Waterloo. Au-delà de ces liens informels, l'IQC a établi des ententes mutuellement bénéfiques en bonne et due forme avec des entreprises canadiennes; récemment, il a signé un protocole d'entente avec Xanadu pour la mise au point de modules d'informatique quantique éclair utilisant le matériel et les logiciels de l'entreprise. Naturellement, le projet a mené à la création de stages officiels à Xanadu pour les étudiants des cycles supérieurs de l'IQC, plus particulièrement les étudiants des programmes d'informatique quantique et de la spécialisation en technologies quantiques. Dans la même veine, l'IQC travaille à établir un protocole d'entente avec Quantum Valley Investment Labs (QVIL), qui offrirait des stages dans la région de Waterloo.

- **Jeunes entreprises :** Les jeunes entreprises de l'IQC et l'environnement qui favorise leur création et leur prospérité seront abordés ultérieurement dans le présent rapport.
- **Groupes universitaires canadiens :** En tant que plus ancien et plus prestigieux institut d'informatique quantique au pays, l'IQC accueille régulièrement des représentants de ses pairs canadiens. Cette année, il a reçu des chercheurs de l'Université McGill, de l'Université de Toronto, de l'Université Carleton, de l'Université de Calgary et de l'Université de la Colombie-Britannique, de même que des visiteurs de tous les grands centres canadiens de recherche en quantique. En outre, certains membres du corps professoral de l'établissement collaborent avec PINQ2, de l'Université de Sherbrooke. L'IQC est ainsi un carrefour qui unifie la recherche en quantique du pays.
- **Groupes universitaires internationaux :** La liste de chercheurs internationaux qui ont visité l'IQC en 2023-2024 est longue. Cela démontre bien qu'au-delà de son excellence en recherche en enseignement, l'Institut cultive des relations de longue date et aide à bâtir des communautés partout dans le monde. Il a reçu des visiteurs hautement distingués d'établissements comme le MIT, Harvard, l'Université du Maryland, l'Université d'Oxford, l'Université de technologie de Delft, l'Université technique de Munich, l'Université Yongsei, l'Université de Tokyo, l'Institut indien de technologie (Delhi, Roorkee et Bombay), l'Institut supérieur coréen des sciences et technologies et l'Université de Griffith. À travers ces relations, l'IQC entretient sa réputation de chef de file mondial en science quantique et fait briller l'écosystème scientifique du Canada.

Ces exemples de collaborations ne concernent que les occasions de croissance stratégique ou de mise en commun des ressources et de l'expertise universitaire et technique. Des exemples de visites du public et de futurs scientifiques spécialisés en quantique seront donnés plus loin pour démontrer la pleine portée des activités de l'IQC.



## Objectif B

Offrir des possibilités aux étudiants d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances.

**Résultats attendus :** Favoriser et offrir des occasions pour les étudiants d'acquérir et d'appliquer des connaissances.

Activités planifiées :

- Continuer de développer le programme des cycles supérieurs de l'IQC et d'y attirer les meilleurs talents.
- Répondre à au moins 400 demandes d'admission au programme des cycles supérieurs de l'Université de Waterloo et de l'IQC.
- Développer les relations existantes avec les programmes de premier cycle des universités ontariennes et canadiennes.
- Continuer d'organiser des conférences, des ateliers, des séminaires et des cours ciblés et opportuns dans le contexte de l'après-pandémie.
- Organiser une centaine d'ateliers, de séminaires et de colloques.
- Commanditer ou organiser une dizaine d'ateliers et de conférences en collaboration avec des partenaires nationaux et internationaux.

## Attirer des talents – Stagiaires postdoctoraux

Les occasions de mentorat, de publication, de recherche et d'enseignement offertes par le stage postdoctoral sont inestimables pour les chercheurs en début de carrière. En 2023-2024, l'IQC a accueilli pas moins de 20 nouveaux stagiaires postdoctoraux d'établissements prestigieux comme l'Université d'Oxford, le Laboratoire national de Brookhaven, l'Université de São Paulo, l'Université Queen's et l'Université de Waterloo.

Au cours du dernier exercice, l'IQC a employé 53 stagiaires postdoctoraux différents, dont au moins 16 étaient des femmes (30 %). Comme le montre le tableau ci-dessous, les nouveaux stagiaires provenaient de divers grands établissements canadiens et étrangers.

Canada	International
Université Simon-Fraser	Université d'Oxford, Royaume-Uni
Université de Waterloo	Université Harvard, États-Unis
Université Queen's	Université de São Paulo, Brésil
Cienna Inc.	Université de Rome, Italie

La liste complète des stagiaires postdoctoraux se trouve à l'annexe E (page 94).

Depuis 2021, 18 doctorants de l'IQC ont obtenu des bourses postdoctorales qui ont permis de propulser leur carrière en recherche. Ces chercheurs en début de carrière sont dévoués à l'avancement de leurs travaux en information quantique à l'IQC. En plus d'attirer de jeunes chercheurs hautement qualifiés, les bourses postdoctorales de l'établissement ont pour effet de semer les graines de la recherche quantique ailleurs au Canada; d'anciens postdoctorants de l'IQC se retrouvent dans les corps professoraux de nombreuses universités, dont l'Université Mount Allison, l'Université de Sherbrooke, l'Université McGill, l'Université d'Ottawa, l'Université Carleton, l'Université métropolitaine de Toronto et l'Université de Waterloo.



## Attirer des talents – Étudiants de cycle supérieur

Dans la dernière année, l'IQC a reçu plus de 400 demandes d'admission aux cycles supérieurs et admis 51 étudiants, pour un total cumulatif de 205 (81 étudiants à la maîtrise et 124 étudiants au doctorat). Il reçoit des candidatures de certaines des écoles les plus prestigieuses du Canada et du monde. En 2023-2024, il a reçu des demandes de 33 pays et des six continents habités de la planète – la preuve que sa réputation et sa portée sont des plus internationales. Le tableau ci-dessous indique la diversité de provenance des candidats, qui comprend 8 des 10 provinces canadiennes (l'Île-du-Prince-Édouard et Terre-Neuve-et-Labrador n'étant pas représentées).

Canada	International	États-Unis
Université de Montréal	Université nationale de Singapour	Université Columbia
Université de Calgary	ETH Zurich	Université Cornell
Université de Saskatchewan	Institut indien de technologie (campus multiples)	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
Université Saint Mary's	Imperial College London	California Institute of Technology
Université de la Colombie-Britannique	Université fédérale de Sao Carlos	Université de Princeton

La liste complète des étudiants de cycle supérieur inscrits à l'IQC se trouve à l'annexe F (page 95).

## Attirer des talents – Étudiants de premier cycle


L'IQC offre plusieurs occasions de découvrir de la recherche aux étudiants de premier cycle.

### USEQIP

Les étudiants peuvent faire une demande d'admission conjointe pour le programme annuel de l'Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing (USEQIP) et une session de recherche subséquente, ou postuler directement comme associé de recherche. Dans les deux cas, les étudiants de premier cycle s'initient aux connaissances nécessaires pour réussir dans un programme de science de l'information quantique aux cycles supérieurs. En 2023, 27 des 32 participants à l'USEQIP sont restés comme assistant à la recherche de premier cycle pour une session qui leur a permis d'acquérir une expérience de travail précieuse et d'apprendre dans un contexte unique.

### PROGRAMME COOPÉRATIF

Bien que l'USEQIP soit un excellent outil pour attirer des talents de partout, il ne faut pas oublier que l'IQC bénéficie du plus grand système de formation en alternance travail-études au Canada, à l'Université de Waterloo. Nombre des laboratoires de l'IQC



mettent les étudiants de premier cycle en contact avec des activités de laboratoire avancées au quotidien. Par exemple, le laboratoire de la Pr Crystal Senko a embauché huit étudiants par session en 2023-2024; à l'échelle du corps professoral, ce sont 47 étudiants qui ont eu accès à une telle formation dans l'année. Ces étudiants participent à des procédures de laboratoire poussées et sont parfois nommés dans les publications de leurs chercheurs principaux. John Donohue, gestionnaire principal de la vulgarisation scientifique, a lui aussi embauché cette année trois étudiants, qui ont eu accès à des activités de communication et de vulgarisation scientifiques avancées. Nombre de ses protégés ont même enchaîné avec un programme coopératif dans le laboratoire d'autres professeurs qu'ils ont rencontrés pendant leur temps sous son aile.

### **ASSISTANTS DE RECHERCHE DE PREMIER CYCLE**

De nombreux participants à l'USEQIP suivent le programme, puis travaillent en laboratoire pour le reste de la session de printemps (au printemps 2023, 27 participants sur 32 sont restés à Waterloo pour travailler avec les professeurs de l'IQC). Cependant, le programme n'est pas obligatoire pour devenir assistant de recherche de premier cycle; les laboratoires reçoivent aussi beaucoup de demandes directes. Par exemple, celui de Thomas Jennewein emploie deux assistants de l'USEQIP et cinq assistants indépendants.

En 2023-2024, les laboratoires de l'IQC ont employé dans divers rôles 107 assistants de recherche de premier cycle et étudiants inscrits à un programme d'alternance travail-études.

### **Distinctions pour les étudiants de cycle supérieur**

Les étudiants et chercheurs de l'IQC figurent parmi les plus grands esprits, et leur travail leur vaut prix et bourses d'études qui leur assurent les fonds nécessaires pour se consacrer à leurs études et briller par l'excellence de leur recherche. Dans la dernière année, tous les étudiants de cycle supérieur à temps plein ont reçu un soutien financier ou un autre pour leurs études.

La liste suivante présente certains des prix, bourses d'études et bourses de recherche les plus prestigieux décrochés par les étudiants à la maîtrise et au doctorat :

- Huit bourses Mike-et-Ophelia-Lazaridis
- Deux bourses d'entrée de l'IQC
- 39 prix pour étudiants internationaux au doctorat
- 13 prix d'excellence pour étudiants internationaux à la maîtrise
- 63 prix Marie-Curie pour étudiants de cycle supérieur
- Une bourse d'études supérieures du Canada Alexander-Graham-Bell du CRSNG – doctorat

- Trois bourses d'études supérieures du Canada Alexander-Graham-Bell du CRSNG – maîtrise
- Six bourses d'études supérieures du CRSNG – doctorat
- Trois bourses d'études supérieures du Canada Vanier du CRSNG
- 17 bourses d'études supérieures du président
- Un prix du vice-recteur principal pour les femmes entrant au doctorat
- Cinq bourses d'études supérieures de l'Ontario
- Une bourse d'études supérieures de la Reine Elizabeth II en sciences et technologie
- Une bourse Amit-et-Meena-Chakma pour l'excellence en enseignement d'un étudiant

## Développement professionnel

Si l'IQC peut se targuer d'avoir une réputation enviable en recherche, l'établissement est également renommé pour favoriser l'épanouissement de ses étudiants et stagiaires postdoctoraux. En 2023-2024, au moins 31 (17,5 %) des articles évalués par les pairs publiés par ses étudiants au doctorat et ses stagiaires postdoctoraux ne comptaient pas de professeur (ni de membre affilié ou associé) parmi les auteurs; certains sont le produit de collaborations entre des étudiants et des stagiaires, et d'autres, du travail d'étudiants seuls. Par exemple, Erickson Tjoa a publié un article dans *Physical Review D* en août 2023, lequel a déjà sa première citation. Il est également auteur unique de plusieurs articles lui ayant valu un indice  $h$  de 10 (avant même l'obtention de son doctorat). Son diplôme en main, il est parti faire de la recherche au Max Planck Institute of Quantum Optics, où il se bâtit rapidement une réputation de calibre mondial. Nommons aussi Lane Gunderman, qui est l'auteur unique d'un article (cité deux fois) publié en juin 2023 dans *Physical Review A* et nommé dans sept publications. Il a aujourd'hui quitté le milieu universitaire pour devenir chercheur scientifique à HRL Laboratories, LLC (mais signe encore des publications). Soulignons le thème d'aide au développement et au réseautage professionnels qui revient dans une bonne partie des profils de la section suivante. Par ailleurs, certains étudiants et stagiaires postdoctoraux de l'IQC (plus d'une dizaine de membres non professoraux actuels ou passés) sont impliqués dans la commercialisation de leurs travaux, en partenariat avec un professeur ou par eux-mêmes.

La réputation de l'IQC en recherche lui sert à attirer de brillants étudiants et stagiaires postdoctoraux et à leur offrir des occasions de se démarquer dans leur carrière de choix, que ce soit en recherche universitaire ou dans le secteur privé. Cette réputation et sa portée internationale l'aident à attirer les plus grands cerveaux à Waterloo; ses anciens membres, devenus professeurs aux quatre coins de la planète, recommandent l'établissement à leurs étudiants. Par exemple, le Pr Rahul Jain (stagiaire postdoctoral de 2006 à 2008) a envoyé plusieurs de ses étudiants à l'IQC ces dernières années.

## Diplômés de l'IQC : la main-d'œuvre d'avenir en quantique

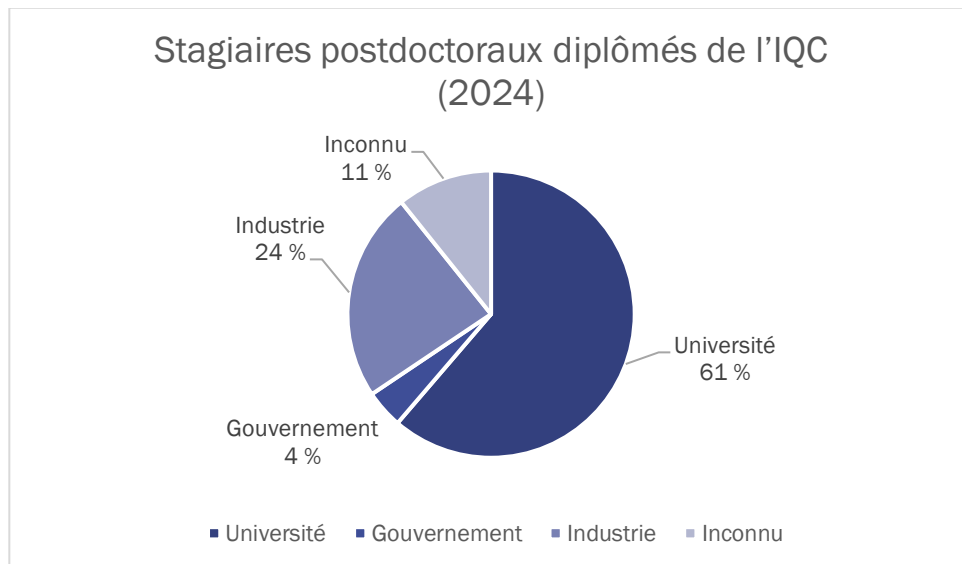
Les étudiants et stagiaires postdoctoraux diplômés de l'IQC deviennent des citoyens du monde dotés d'une grande force d'influence dans les secteurs universitaire, privé et public. Ils contribuent aux avancées de la quantique dans divers champs d'activité, comme les finances, les communications et la technologie, et inspirent les innovateurs de demain par leur passion, leur détermination et leur ingéniosité.

Exemples de postes occupés par nos diplômés :

- Professeur agrégé
- Ingénieur de recherche
- Vice-président, informatique quantique
- Chargé de recherche principal
- Directeur, informatique quantique

## Répartition des stagiaires postdoctoraux diplômés

En dehors du milieu universitaire, les stagiaires postdoctoraux diplômés sont considérés comme des modèles, des visionnaires et des chefs de file par leurs pairs. Lorsqu'ils quittent le campus, ils deviennent des citoyens du monde capables d'influencer les secteurs universitaire, privé et public. Voici un aperçu des milieux professionnels choisis par les diplômés postdoctoraux de l'IQC en date du 31 mars 2024 :





## Profils des stagiaires postdoctoraux diplômés

Les stages postdoctoraux de l'IQC sont de véritables tremplins professionnels. Nous parlons souvent des diplômés récents, mais n'oublions pas de souligner la carrière de stagiaires postdoctoraux qui ont quitté l'établissement il y a une dizaine d'années. Comme le montrent les profils ci-dessous, nos stagiaires profitent de leur passage à l'IQC des décennies durant.

### Daryoush Shiri – Stagiaire postdoctoral, 2013 à 2015

En tant qu'étudiant au doctorat et stagiaire postdoctoral à l'IQC, Daryoush Shiri a eu l'occasion d'apprendre et d'explorer librement, ce qui a revigoré sa passion pour la résolution de problèmes et la recherche, et a même pu donner deux mini-cours de cycle supérieur. Ces expériences l'ont placé sur la voie d'une carrière combinant recherche et enseignement, le menant ultimement vers un poste de chercheur scientifique à l'Université de technologie de Chalmers en Suède. Dans ce poste où il étudie la conception et la simulation de circuits supraconducteurs hyperfréquences pour les applications en informatique quantique, il encadre des étudiants de cycle supérieur, participe à des conférences et a été coauteur du manuel *Quantum Mechanics for Engineers and Material Scientists*, publié en mars 2024.

« Je fais de mon mieux pour inculquer à mes étudiants les leçons apprises de mes incroyables mentors à Waterloo – au Département de génie électrique et informatique et à l'IQC –, mais je ne cesserai jamais d'être moi-même un étudiant curieux. La recherche est pleine de surprise; c'est comme marcher en territoire inconnu. Il faut garder l'œil ouvert pour ne pas laisser passer les idées et les solutions qui jaillissent de ressources totalement insoupçonnées. »

Daryoush Shiri retient de l'IQC son milieu ouvert et chaleureux, où il pouvait poser des questions et parler de science à tout le monde. Il aimait la nature interdisciplinaire du travail et la culture de respect et de diversité, qui font de l'établissement un modèle unique pour les autres centres de recherche. « Le personnel de l'IQC était toujours là pour m'aider et m'épauler, comme une famille. Je m'ennuie de tout le monde. »

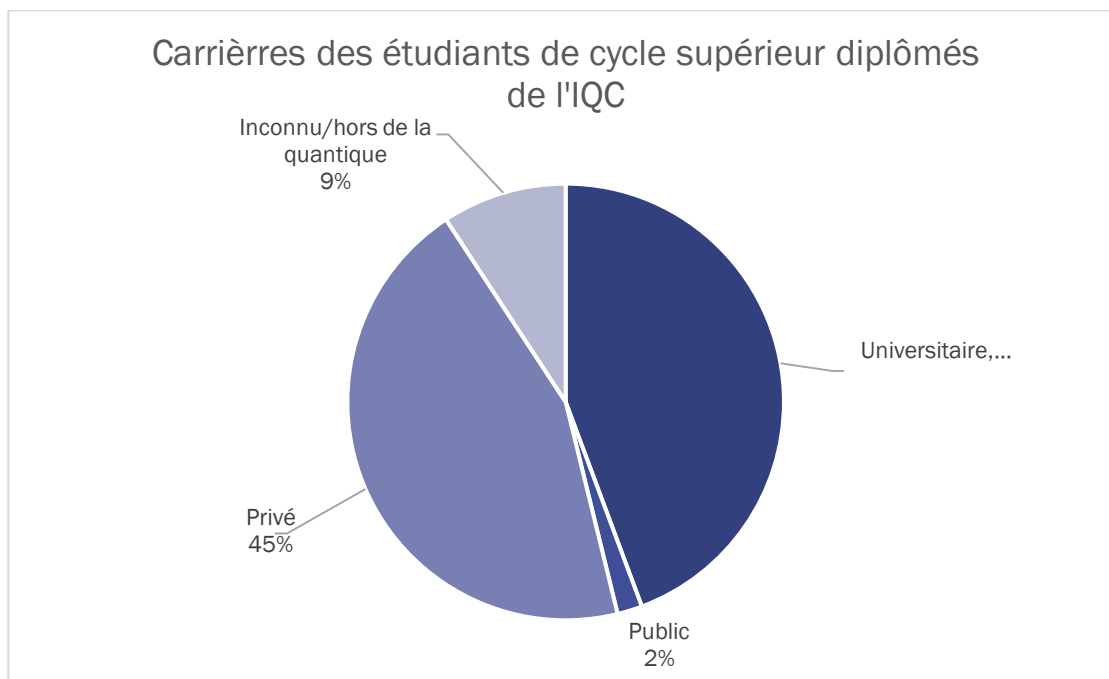
### Audrey Dot – Stagiaire postdoctorale, 2014

Pendant son stage postdoctoral à l'IQC, Audrey Dot utilisait le mélange à quatre ondes dans la fibre optique pour convertir des photons uniques en paires de photons. Avec l'aide de son superviseur Thomas Jennewein, de l'étudiant au doctorat Evan Meyer-Scott et de collègues de l'Université McGill à Montréal, elle a réussi à envoyer un photon unique dans la fibre optique au moyen d'un faisceau de pompage fort, produisant ainsi une paire de photons plus efficacement que jamais auparavant. Après son stage, elle a mis ses connaissances et ses aptitudes en recherche au service de Qivivo, une entreprise de thermostats intelligents où elle travaillait sur les algorithmes d'apprentissage machine à titre d'ingénieure physicienne.

Aujourd'hui, elle travaille en recherche et technologie pour Thales, en France. Elle est spécialiste des sciences appliquées en communications quantiques et œuvre plus particulièrement à déployer des réseaux de distribution quantique de clés (DQC) dans la région de Paris. Son travail est directement lié à son stage postdoctoral avec Thomas Jennewein, chef de file international en communication par DQC.

### Aperçu des étudiants de cycle supérieur diplômés


Cette année, l'IQC a fièrement remis des diplômes à 13 étudiants à la maîtrise et 14 étudiants au doctorat, faisant grimper son total de diplômés à 432. Ces diplômés occupent divers emplois dans les secteurs universitaire, privé et public, au Canada et ailleurs dans le monde. En date du 31 mars 2024, 127 (30 %) des diplômés de l'IQC, dont 27 femmes, travaillaient en informatique quantique au pays, et au moins neuf autres étaient stagiaires postdoctoraux dans des universités canadiennes. Le graphique ci-dessous montre la répartition des diplômés par domaine d'activité, lorsque indiquée.



### Profil des étudiants diplômés

#### Chris Ferrie – Maîtrise et doctorat en mathématiques appliquées

Chris Ferrie a entrepris son cheminement en quantique à l'IQC au cycle supérieur, sous l'égide du Pr Joseph Emerson. Pendant ses études à l'établissement, il a publié son premier article scientifique et acquis des aptitudes de recherche qu'il utilise encore au quotidien. Il garde de bons souvenirs du temps passé à se bâtir un réseau d'amis et collègues en quantique, dans un contexte de collaboration et entouré d'experts



internationaux – une expérience qu’il estime tout aussi cruciale que son apprentissage technique.

Aujourd’hui, l’ancien étudiant est professeur à l’Université de technologie de Sydney, où il étudie les applications de caractérisation, de contrôle et d’amélioration des technologies quantiques de la conception de protocoles d’apprentissage automatisés et intelligents. Il se passionne pour la communication scientifique et a écrit 60 livres pour petits et grands, dont *Quantum Physics for Babies*. « J’ai commencé à écrire des livres pour mes propres enfants, parce que je ne trouvais pas de lectures scientifiques pour les tout-petits. J’écris sur des sujets complexes d’une part parce que c’est ce que j’aime, et d’autre part parce que je crois que tout le monde a la capacité de comprendre ces concepts s’ils sont expliqués de façon stimulante et accueillante. »

Pour l’avenir, Chris Ferrie espère que ses travaux ouvriront la voie à des méthodes adaptables pour l’accès à l’information critique qui sous-tendra la concrétisation des technologies quantiques.

### **Agnes Ferenczi – Doctorat en physique**

Pour Agnes Ferenczi, les défis sont une occasion de faire des découvertes. Elle travaille actuellement au Centre allemand pour l’aéronautique et l’astronautique, où elle est responsable d’un projet de recherche en lien avec les systèmes de communication quantique (DQC par satellite). Dans sa carrière, elle s’est intéressée à une foule de domaines, dont l’apprentissage machine, le développement de logiciels, l’expérience utilisateur et la mise en œuvre d’algorithmes de recherche pour Cliqz, un moteur de recherche et navigateur axé sur la vie privée. L’assise de sa carrière : les aptitudes et les outils qu’elle a acquis pendant son doctorat en cryptographie quantique auprès de Norbert Lütkenhaus, chercheur de l’IQC.

S’intéressant particulièrement à la sécurité des systèmes de cryptographie quantique, Agnes Ferenczi a adapté la théorie quantique aux capacités expérimentales actuelles pour faire le pont entre la théorie et la réalité expérimentale. Pendant son doctorat, elle a notamment révisé le codage de phase du protocole BB84 pour la transmission d’information quantique par la polarisation des photons. Dans ce scénario, lorsque deux impulsions laser sont émises, l’une reste telle quelle, et l’autre s’affaiblit, un résultat dont la preuve théorique ne tenait initialement pas compte. « On adapte la théorie pour faire place aux imperfections d’un contexte expérimental », explique la chercheuse, une simplification qui rend souvent l’expérimentation plus accessible.

### **Séminaires et colloques**

Les séminaires et colloques fréquents de l’IQC assurent la participation soutenue du milieu de la recherche et des visiteurs. En 2023-2024, l’établissement a accueilli 9 ateliers, 63 séminaires et 11 colloques. La série de séminaires étudiants lancée à l’exercice 2019-2020 (qui a compté 27 événements cette année) continue de rassembler les membres de l’IQC pour donner l’occasion aux étudiants d’échanger sur leurs résultats de recherche, de découvrir ce qui se fait dans les champs connexes au leur et de

s'habituer à faire des présentations. L'IQC contribue également à la science quantique en organisant des rencontres entre des groupes de chercheurs aux intérêts communs. Par exemple, novembre 2023 a vu le lancement d'un groupe d'atomique, de moléculaire et d'optique à l'occasion d'une rencontre communautaire comprenant une présentation sur l'optique plane suivie de discussions animées et d'une séance de questions.

## Conférences et ateliers commandités


L'IQC s'engage à soutenir des conférences et des ateliers externes pour encourager la collaboration au sein d'un réseau de chercheurs national et mondial. Il a commandité plusieurs événements de partenaire externes à l'exercice 2023-2024 (voir le tableau) et continuera de commanditer des événements pertinents lorsque l'occasion se présente.

Date	Conférence	Lieu
Mai	Ontario Association of Physics Teachers (OAPT)	Institut Périmètre
Mai	Conférence des étudiants de l'IQC	IQC
Juin	JAMHacks 7	Waterloo
Juin	Congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP)	Université du Nouveau-Brunswick
Juillet	École d'été sur les fondations de l'avantage de calcul de la quantique	Université Bilkent, Ankara
Juillet	Women in Physics Canada	Université du Manitoba
Juillet	50 <sup>e</sup> International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP 2023) de l'EATCS	Université de Paderborn
Juillet	Theory Canada 15	Université Mount Allison
Août	QCrypt	NIST
Septembre	QPV 2023: Advances in Quantum Position Verification	Institut Périmètre
Septembre	Conférence Q-SITE (conférence des étudiants canadiens en quantique)	Université de la Colombie-Britannique
Septembre	Q-SITE 2023	Toronto et Vancouver
Octobre	Conférence canadienne des étudiants en physique (CCEP)	Waterloo
Octobre	Atelier WIN-IQC	Waterloo
Janvier	Canadian Conference for Undergraduate Women in Physics (CCUWiP)	McGill et Université de Montréal

Ces commandites aident à bâtir l'image de marque de l'IQC pour le recrutement de futurs étudiants (par exemple avec JAMHacks 7, qui vise un public du secondaire, ou la Conférence canadienne des étudiants en physique) et stagiaires postdoctoraux et pour l'avancement professionnel des professeurs.

## Organiser des conférences multidisciplinaires

L'IQC a organisé plusieurs événements et conférences multidisciplinaires en 2023-2024, dont les suivants :



L'atelier sur les preuves de sécurité 2023 a réuni des spécialistes de l'analyse de sécurité de la DQC, dans un événement favorisant les échanges libres et spontanés. Cette cinquième édition de l'atelier visait la DQC pratique indépendante du dispositif, l'utilisation optimale des statistiques et le traitement classique dans la DQC et les preuves de sécurité non identifiantes. Cet atelier de l'IQC, qui a eu lieu du 11 au 13 septembre 2023, a été bien reçu et pourrait donner naissance à des collaborations nationales et internationales plus importantes. Y ont notamment participé des chercheurs de renommée mondiale comme Renato Renner (ETH Zurich), Frédéric Dupuis (Université de Montréal), Masato (Université de Tokyo), Peter Brown (Télécom Paris), Hoi Kwong Lo (Université de Toronto) et Rotem Arnon-Friedman (Institut Weizmann).

En octobre, l'IQC et l'Institut de nanotechnologie de Waterloo ont organisé leur atelier annuel WIN-IQC, conçu pour rassembler les communautés de ces deux instituts qui partagent un même bâtiment et permettre à leurs corps professoraux d'apprendre à se connaître. Les participants ont aussi droit à une présentation d'un chercheur externe chaque année; en 2023, Jiwoong Park, de l'Université de Chicago, est venu parler des processus à grande échelle pour produire les superstructures et les films de semiconducteurs cristallins à deux dimensions utilisés dans la fabrication de circuits intégrés d'épaisseur atomique.

L'atelier d'une semaine Quantum Innovators (QI) a pour sa part rassemblé les jeunes stagiaires postdoctoraux les plus prometteurs à Waterloo, où ils ont pu réseauter avec leurs pairs et présenter leur recherche à des experts pour affiner leurs talents et leur style de présentation. L'édition de 2023 comportait deux volets. Le premier, s'adressant aux stagiaires dans les domaines théoriques, s'est déroulé du 6 au 8 novembre. Quatorze stagiaires postdoctoraux des établissements les plus prestigieux au monde (MIT, CNRC, ETC Zurich, Collège universitaire de Londres, etc.) se sont rendus à Waterloo pour discuter de leurs travaux avec les professeurs et les étudiants de l'IQC. Puis, du 8 au 10 novembre, le volet expérimental a accueilli neuf stagiaires postdoctoraux venus de partout – Harvard, Joint Quantum Institute de l'Université du Maryland, Cornell, MIT et plus – pour discuter de leurs travaux avec la communauté de l'IQC.

Ces conférences exposent les étudiants de l'IQC à ce qui se fait en recherche aux quatre coins du monde et réunissent de jeunes experts à Waterloo, où ils ont l'occasion de contribuer à un carrefour quantique de calibre international.

## Objectif C

Faire connaître la science et les technologies de l'information quantique dans la communauté scientifique et de façon plus générale au Canada.

**Résultats attendus :** Faire rayonner l'IQC et la science et les technologies de l'information quantique auprès de la communauté scientifique et du public canadien.

Activités planifiées :

- Accueillir deux écoles d'été : l'USEQIP (premier cycle universitaire) et la QSYS (secondaire).
- Organiser l'atelier annuel Quantum for Educators (anciennement Schrödinger's Class) pour les enseignants au niveau secondaire.
- Organiser des événements de vulgarisation comme des conférences publiques pour faire connaître l'IQC et l'information quantique aux participants.
- Offrir des programmes de STIM pour les femmes et les filles.
- Établir des relations avec de grands partenaires stratégiques pour diffuser plus largement les découvertes de l'IQC.
- Continuer de diffuser les résultats de l'IQC dans les publications, les nouvelles et les communiqués de presse ainsi que sur Internet et les réseaux sociaux.
- Tirer parti des ressources et du contenu en ligne pour attirer de nouveaux visiteurs sur le site Web de l'IQC.



## Rayonnement


Grâce à ses 202 événements virtuels et en personne, l'équipe de rayonnement de l'IQC, sous la direction de John Donohue, a exposé plus de 41 000 personnes à la science de l'information quantique cette année. Plus de 13 000 de ces personnes ont bénéficié d'activités hautement stimulantes, en vaste majorité (plus de 10 000) des élèves du primaire et du secondaire ou des membres du public canadien. L'équipe a ainsi pu mettre en contexte le vaste enthousiasme que suscite le développement d'un ordinateur quantique dans la presse populaire et la fiction et informer le public. La plupart des activités de rayonnement étaient de nature privée, par exemple des visites en personne de l'IQC dans les salles de classe. En sollicitant de petits groupes d'élèves, l'équipe exploite un avantage crucial : la capacité de répondre directement aux questions pour approfondir la compréhension des concepts de la science quantique au sein de la population.

Dans ses activités de rayonnement, l'IQC fait preuve d'un leadership pédagogique et scientifique inédit sur la scène canadienne de la quantique. Ces trois dernières années, le Pr Donohue a contribué à la conception de programmes similaires aux États-Unis (le système universitaire du pays étant la deuxième source d'étudiants des cycles supérieurs à l'IQC). Soulignons notamment son travail avec l'Université du Texas pour orienter les programmes de premier cycle, alimenté par son expérience avec l'USEQIP, de même que son travail avec le National Q-12 Education Partnership pour développer des programmes de niveau secondaire, guidé par sa vaste expérience de la QSYS; les programmes de l'IQC sont si bien intégrés aux programmes en quantique de la National Science Foundation (NSF) à l'Université du Texas à Austin que les démonstrations de John Donohue ont récemment été reprises par Sethuraman Panchanathan, directeur de la NSF, dans les vitrines de la recherche quantique à Washington D.C.

Qui plus est, le Pr Donohue a donné des présentations sur les stratégies de rayonnement en quantique lors des APS March Meetings (2022), de la semaine quantique de l'IEEE (2022) et du congrès du Conseil des premiers ministres de l'Atlantique (2023). Enfin, fait notoire pour un directeur du rayonnement en quantique, il a publié un article paru dans *Nature Photonics* en septembre 2023. Ainsi, il est singulièrement qualifié pour orienter les discussions sur la science quantique des instituts du pays, que ce soit avec des élèves du secondaire et des étudiants universitaires qui se démarquent ou des membres du public; à son expérience de vulgarisation et d'enseignement de concepts avancés s'ajoute une formation de scientifique quantique hautement qualifié.

En plus d'organiser les visites de développement stratégiques mentionnées plus haut, l'IQC sollicite le grand public en organisant des visites guidées de différents laboratoires du QNC. Cette année, il a accueilli le Forum international des femmes, Next Generation Manufacturing Canada, une délégation du consulat américain, l'atelier pour enseignants EinsteinPlus, des gens du Programme de certificat en leadership du secteur public et gouvernance de l'Université d'Ottawa et divers membres de la communauté locale.

Les professeurs de l'IQC travaillent aussi activement au rayonnement en dehors du milieu universitaire. Notamment, Michele Mosca se fait promoteur d'une cryptographie à l'épreuve des technologies quantiques depuis plusieurs années, ayant compris que



certaines données conservent leur valeur des décennies durant. Ses efforts lui ont permis de siéger au *Global Future Council on the Future of the Quantum Economy* du Forum économique mondial et de se rendre à Ottawa pour donner une présentation intitulée *Quantum Computing for National Security Leaders* à la conférence du groupe de cyberexperts du G7, organisée par le ministère des Finances en juin 2023.

De son côté, Rajibul Islam a été invité à *Quirks & Quarks* en juin 2023, dans un épisode où il fait montre de son talent avéré pour l'enseignement (prix d'excellence en enseignement du président, 2021 et prix d'excellence en enseignement des sciences 2024) en présentant son savoir expérimental des plus poussés à l'aide d'un vocabulaire et d'exemples grand public.

Des membres de l'IQC contribuent aussi à définir les règles qui encadreront l'utilisation des technologies quantiques, en tenant compte des éventuelles répercussions économiques et juridiques d'une plus grande accessibilité de ces technologies.

Par exemple, Raymond Laflamme a présidé un panel (avec d'éminents professeurs canadiens comme Barry Sanders de l'Université de Calgary) sur les façons de stimuler l'adoption des technologies quantiques au sein du Conseil des académies canadiennes. Le rapport du panel, *Quantum Potential*, se veut une réponse directe à une demande du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE); il cerne et évalue les possibilités et les difficultés en lien avec l'adoption de ces technologies au pays, non seulement sur le plan technique, mais aussi sur les plans éthique, économique, légal et stratégique. Le Pr Laflamme est particulièrement qualifié pour juger des effets de ces technologies fondamentales sur la société canadienne, lui qui a été directeur général de l'IQC pendant plus de 15 ans et est aujourd'hui coprésident de la Stratégie quantique nationale du Canada.

Enfin, en plus de ses initiatives de rayonnement et de son travail sur les conséquences sociales globales de la recherche sur la science de l'information quantique, l'IQC offre depuis longtemps des programmes à succès pour rejoindre divers publics cibles.

## **Programmes de participation à la science de l'information quantique**

### **Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing (USEQIP)**

Les programmes comme l'USEQIP ont inspiré d'anciens participants à poursuivre leurs études dans leur établissement d'attache, puis à revenir à l'IQC aux cycles supérieurs. Depuis la création de l'USEQIP en 2009, des dizaines de personnes ont suivi cette voie, prouvant l'utilité de tels outils pour le recrutement de grands talents. Les participants soulignent l'atmosphère accueillante du programme, favorisée par l'ouverture et l'intérêt des professeurs envers les étudiants :

*« Pour quelqu'un qui s'intéresse à l'information et au calcul quantiques ou qui travaille déjà dans le domaine, ce programme est selon moi l'un des*

*meilleurs au monde. Il donne l'occasion de rencontrer des figures éminentes de la recherche en quantique et d'acquérir de l'expérience pratique avec de l'équipement de laboratoire de pointe. C'est une porte grand ouverte sur ce qu'il se fait à l'IQC. Dans l'ensemble, c'est une expérience incroyable qui encourage la réflexion, l'apprentissage, la mise en application et l'exploration sur plusieurs plans de la quantique, avec d'autres personnes qui partagent la même passion. »*

*« L'USEQIP est une mine d'or d'information brute et d'occasions de mise en application dans des laboratoires stimulants. J'ai l'impression que le programme m'en a appris plus sur l'information quantique que mes quatre années au baccalauréat. »*

*« Tout le monde est très gentil et ouvert; on apprend tellement simplement en posant des questions. Les cours m'ont souvent permis de débrouiller ma compréhension de certaines plateformes et de certains algorithmes expérimentaux. Le programme est bien structuré et les activités à l'horaire s'enchaînent naturellement. Une expérience géniale et bien rodée! »*

En 2023, l'IQC a tenu son programme annuel de l'USEQIP du 29 mai au 9 juin. Il s'agissait de la deuxième édition en personne depuis 2022. Cette année, des étudiants talentueux sont venus de partout en Amérique et en Asie, représentant l'Institut indien de technologie de Bombay, l'Université Yale et l'Université du Maryland à College Park. Le programme comptait aussi des Canadiens de l'Université McGill, l'Université de Toronto, l'Université de Sherbrooke, l'Université Dalhousie et l'Université de Waterloo. Il y a eu au total 32 participants, dont 27 qui sont restés pour la session afin de travailler à titre d'assistants de recherche de premier cycle avec divers professeurs et de gagner une belle expérience auprès de chercheurs de premier plan.


## **Quantum School for Young Students (QSYS)**

Du 9 au 17 août 2023, l'IQC a accueilli des élèves du Canada, des États-Unis, de la République tchèque, de l'Inde, du Pakistan et du Cambodge à la QSYS, son école d'été annuelle.

Cette année, l'événement était de retour à une formule 100 % en présentiel. Sur plus de 720 candidatures reçues, 42 élèves ont été retenus pour un séjour à Waterloo avec plus de 20 chercheurs de calibre mondial. Les chercheurs avaient tout aussi hâte de rencontrer les élèves que les élèves avaient hâte de découvrir la recherche de pointe :

*« C'est un vrai plaisir de rencontrer des élèves du secondaire si enthousiastes envers la science, particulièrement la science quantique. La profondeur de leurs questions m'étonnera toujours. »*

- Pr Alan Jamison, spécialiste en chimie quantique ultrafroide



La montagne de candidatures que reçoit la QSYS démontre un appétit hors du commun pour la quantique chez les élèves du secondaire et fait foi de la réputation de l'IQC comme institut de calibre mondial pour la recherche scientifique dans le domaine. En plus d'un excellent programme de cours, la QSYS offre un environnement inclusif pour les jeunes : des 42 participants, 23 (55 %) étaient des femmes.

Dans un sondage envoyé aux élèves après l'école d'été, 98 % des répondants ont dit que leur expérience avait été excellente (83 %) ou bonne (15 %), et 100 % encourageraient leur entourage à participer, soit activement (93 %) ou si on leur demandait leur opinion (7 %). Enfin, 95 % des répondants étaient fortement d'accord avec l'affirmation suivante : « La QSYS m'a présenté des idées dont on ne parle pas dans mes cours au secondaire. »

*« Le dernier défi est à refaire! C'était tellement stimulant! Ça nous a permis de collaborer et de mettre à l'épreuve nos nouvelles aptitudes dans un contexte peu familier. »*

*« Le programme est phénoménal. Je ne saurais remercier assez tout le monde pour cette expérience. »*

*« J'ai adoré le programme! »*

## **Quantum for Educators (anciennement Schrödinger's Class)**

L'IQC a donné son neuvième atelier annuel pour les enseignants du secondaire, Quantum for Educators, du 1<sup>er</sup> au 3 décembre 2023.

Dans notre société à l'aube d'une deuxième révolution quantique, il est important de s'assurer que les jeunes ont accès à de l'information exacte et d'actualité qui captera leur intérêt et les incitera à participer. L'IQC aide les enseignants du secondaire à se tenir à l'affût de la science quantique et à comprendre comment les technologies quantiques s'intègrent dans toutes sortes de secteurs de la société.

L'événement a non seulement favorisé la croissance personnelle des participants, mais leur a aussi permis de tisser des liens avec une nouvelle communauté d'enseignants dévoués à la transformation de la pédagogie de la science.

L'atelier a fait naître des possibilités pour les enseignants en sciences, les encourageant à explorer de nouvelles facettes de l'enseignement et à inspirer la prochaine génération de chercheurs en quantique.

Des répondants au sondage de rétroaction, 100 % ont dit qu'ils « recommanderaient activement le programme à des collègues » (88 %) ou le recommanderaient « si on leur demandait leur avis » (12 %). Quant à la possibilité de transmettre l'information à d'autres enseignants, les participants ont dit vouloir propager le contenu du cours à 15 collègues en moyenne.

*« J'enseigne l'informatique et j'adorerais que tous mes collègues en sciences participent à l'atelier pour que nous puissions travailler ensemble à offrir un enseignement interdisciplinaire. Je recommande l'expérience à tous les enseignants en STIM; on se sent tellement en confiance quand on sait ce qu'il se passe "derrière le rideau", qu'on approfondit sa connaissance jusqu'ici très superficielle de certains concepts quantiques. Sans compter l'aspect gratifiant d'apprendre avec des collègues qui partagent mes valeurs! »*

*« Ce genre d'information est extrêmement difficile à assimiler par soi-même. La compréhension profonde nécessaire à l'enseignement est facilitée par les discussions en direct avec les formateurs et les collègues. C'est une expérience qu'on ne peut simplement pas remplacer. C'était génial de voir les laboratoires et de parler avec des étudiants et des professeurs. J'ai plein d'histoires à raconter à mes élèves! »*

*« J'ai trouvé que la conférence était une excellente façon d'en apprendre plus sur la physique quantique et les façons de l'amener dans nos classes. J'ai des collègues qui sauraient aussi tirer parti de cette formation. Et que dire de l'occasion de réseauter entre enseignants de sciences! »*

## Présentations publiques

L'IQC a poursuivi sa série Quantum Today, qui vise à combler le manque de contenu conçu pour tenir le public scientifique au fait des problèmes et des pistes de solutions en information quantique explorés dans ses laboratoires.

Désormais tenue en personne, la série a cette année accueilli plus de 100 participants et mis en valeur le travail de deux groupes de l'IQC :

- Le Pr Eduardo Martín-Martínez de l'Université de Waterloo et Hemant Katiyar, un ancien de l'IQC, ont parlé du potentiel de la thermodynamique quantique dans la conception d'une expérience sur les fondements de la mécanique quantique. Leur présentation était inspirée de leur publication « Experimental activation of strong local passive states with quantum information », dans *Physical Review Letters*.
- Joan Arrow et Özge Gülsayin, qui explorent l'intersection entre la quantique et la société dans le cadre du [Quantum Ethics Project](#), ont discuté des façons de favoriser le développement responsable et inclusif des technologies quantiques grâce à la formation et à la recherche, et de l'importance d'adopter une approche éthique dès le tout début du processus d'innovation technologique.





Les professeurs et les étudiants des cycles supérieurs de l'IQC ont aussi participé à plusieurs webinaires organisés par IBM à l'intention de publics spécialisés, notamment :

- Christine Muschik – *Simulating One-Dimensional Quantum Chromodynamics on a Quantum Computer* (« Simulation de la chromodynamique quantique à une dimension sur un ordinateur quantique »)
- David Gosset – *How to simulate measurement without computing marginals* (« Simulation de mesures sans calcul des marginales »)
- Shayan Majidy, candidat au doctorat à l'IQC – *Monitored Quantum Circuits with Noncommuting Conserved Quantities* (« Surveillance de circuits quantiques aux qualités non commutatrices préservées »)

Le Pr Thomas Jennewein a donné une conférence publique en conjonction avec une conférence scientifique à l'Université Brock intitulée *Beyond the Imitation Game: From Dieppe and James Bond to Blackberry and Quantum Encryption* (« Au-delà du jeu de l'imitation : de Dieppe et James Bond au Blackberry et au cryptage quantique »). Sa présentation, inspirée de ses travaux précédents, fait état des connaissances de pointe sur l'écoute clandestine des communications électroniques par distribution quantique de clés.


John Donohue, gestionnaire principal de la vulgarisation scientifique, a pour sa part orchestré des présentations dynamiques conçues pour susciter des réactions plus instinctives, notamment lors de portes ouvertes, de réunions d'anciens et de camps d'entraînement en programmation. Il a également participé à l'événement TED<sup>x</sup> Columbia Lake Youth à Waterloo, axé sur la réinvention de l'éducation, et fait une démonstration publique au festival Lumen de la ville. En outre, il a donné une présentation publique sur la quantique dans la culture populaire au Quantum Algorithms Institute de Colombie-Britannique. Le Pr Donohue a aussi relancé le rayonnement et le recrutement à l'international en se rendant à l'Université de Leiden, aux Pays-Bas, où il a installé le stand mobile de l'IQC pour présenter une démonstration sur les multiples facettes de la quantique à l'événement Gala van Quantum en Samenleving.

Dans ses activités de rayonnement, l'IQC tire profit d'un large éventail de canaux pour informer la population sur la science quantique, révéler l'influence de cette dernière sur le quotidien et inviter le public à y contribuer.

## Visites de classes du secondaire

Si le rayonnement sert d'abord à promouvoir la recherche en cours à l'IQC, il peut aussi avoir pour effet de faciliter le recrutement. Chaque année, le personnel de l'établissement visite des centaines de classes au Canada pour faire valoir l'importance de la science quantique et présenter l'IQC aux élèves intéressés par les STIM. Ces experts en quantique se rendent en classe pour parler aux élèves de science et d'information quantiques et répondre à leurs questions sur le domaine et les carrières





en recherche. L'IQC a organisé exactement 100 visites au Canada cette année, et rejoint plus de 3 000 élèves. Jouissant d'une réputation internationale en recherche, l'établissement répond aussi aux demandes de rencontres virtuelles dans des écoles secondaires d'autres pays lorsque possible. En 2023-2024, ses experts ont ainsi visité des classes en Pologne, en Roumanie, au Ghana et aux États-Unis, interagissant avec plus de 200 élèves à l'étranger.

Les événements communautaires en personne sont une autre occasion pour l'IQC de faire connaître la science quantique aux enfants. L'Expo-sciences pancanadienne, le festival Lumen et la journée familiale STEAM avec LAUNCH lui ont permis d'aller à la rencontre de milliers de Canadiens amateurs de sujets techniques. L'Expo-sciences pancanadienne de 2023 a eu lieu à Edmonton; deux membres de l'IQC étaient sur place pour faire des démonstrations, répondre à des questions et faire connaître l'établissement auprès des talentueux élèves du secondaire présents.

### **Promotion de la science auprès des filles et des femmes**


Convaincu de l'importance de l'équité et de la diversité, l'IQC souhaite présenter aux femmes et aux filles les programmes de STIM des établissements d'enseignement et de recherche comme une option viable avant même leur demande d'admission aux cycles supérieurs. L'établissement vise la parité des genres, ayant admis 55 % de filles et de personnes non binaires à la QSYS (élèves du secondaire) et 50 % de femmes à l'USEQIP. L'IQC s'associe également à d'autres organismes pour communiquer une chaleureuse invitation aux femmes et aux filles de tout le pays.

En 2023-2024, l'IQC a tenu plusieurs événements de promotion de l'équité des genres en STIM pour divers publics. Pour aider les filles du primaire à se projeter dans une carrière scientifique, il a organisé deux activités avec la Canadian Association for Girls in Science (CAGIS), l'une à Vancouver (CAGIS Vancouver Workshop) et l'autre en Ontario (CAGIS Workshop & Filming). Déterminé à voir les femmes faire partie intégrante de l'avenir de la quantique, l'IQC entretient des relations avec la CAGIS depuis une décennie.

L'IQC était représenté à l'atelier PhysiX: Girls Matter de l'Université de Waterloo, organisé par cette dernière pour inviter dans ses murs des élèves filles et non binaires du secondaire à la rencontre de membres de la population étudiante qui leur ressemblent lors d'ateliers stimulants, mais aussi de modèles et de mentors à la riche expérience.

Un étudiant des cycles supérieurs de l'IQC a également participé à une table ronde au Centre for Education in Mathematics and Computing. L'atelier sur les possibilités et les joies des sciences informatiques (Seeing Possibilities and Rewards in Computer Science, ou SPARCS) est conçu pour susciter l'intérêt pour cette discipline chez des jeunes du secondaire qui la connaissent peu, voire pas du tout. Les étudiants des cycles supérieurs de l'IQC savent être très inspirants pour des adolescents parfois peu familiers avec les thèmes de pointe de l'informatique.

Le Pr Donohue a aussi assisté à la Conférence canadienne des étudiantes en physique (CCUWiP) tenue à l'Université de Montréal en janvier 2024. Il était accompagné de



Fiona Thompson, étudiante à la maîtrise, et de Sara Zafar Jafarzadeh, Ph. D. Il s'agissait à la fois de faire du recrutement et de présenter des modèles féminins aux études supérieures.

En tant qu'établissement de recherche de pointe, l'IQC est déterminé à favoriser la diversité des intérêts et des points de vue. Pour y arriver, il s'efforce de rayonner vers d'autres groupes de personnes qui ne se voient pas nécessairement aux études supérieures. En 2023-2024, l'IQC a participé à deux événements organisés pour attirer les étudiants noirs de tout l'Ontario. Il a tenu un atelier en STIM sur la supraconductivité en partenariat avec Engineering and Science Quest en mars 2024. En août 2023, le Pr Donohue a dirigé un atelier Developing Young Leaders of Tomorrow Today (DYLOTT) sur la polarisation et la cryptographie quantique.

### **Partenariats stratégiques de rayonnement**

L'IQC collabore avec des entités comme la bibliothèque publique de Hamilton, SHAD et Lumen pour faire connaître les idées et les associations de la quantique dans la sphère publique. L'IQC est également en relation avec la CAGIS, l'Institut Périmètre et PhysiX, et continue de chercher des partenaires privés et à but non lucratif pour promouvoir la science quantique. Son objectif en 2024-2025 sera d'établir de nouveaux partenariats pour renforcer sa qualité de leader de l'avenir quantique au Canada.

L'IQC est également en contact avec plusieurs bénéficiaires du Fonds stratégique des sciences dans une communauté de pratique visant à mettre en commun les pratiques exemplaires. Dans l'année qui vient, l'IQC collaborera directement avec Actua et Parlons sciences pour chercher des façons d'augmenter son rayonnement, notamment auprès de la jeunesse canadienne. Il travaille également avec d'autres centres quantiques du pays, dont tout récemment avec Quantum City (Université de Calgary) à la promotion de la commercialisation des technologies quantiques au Canada.

### **Communications**

L'IQC publie des nouvelles, des communiqués de presse, des imprimés et du contenu en ligne pour faire connaître les chercheurs et leur travail à l'international. Il adapte ses communications à un large éventail de publics, de la population générale aux membres de la communauté quantique mondiale.

### **Nouvelles et couverture médiatique**

Chaque année, les membres de l'IQC soumettent leurs résultats de recherche aux médias grand public pour promouvoir les travaux de la communauté. Du 1<sup>er</sup> avril 2023 au 31 mars 2024, l'établissement a été mentionné plus de 900 fois dans les médias, avec un potentiel d'un peu plus de 1 milliard de vues sur les fils d'actualité.

L'IQC est entre autres nommé dans les médias suivants :

- Forbes
- Yahoo! Finance
- *The Globe and Mail*
- Associated Press
- *MIT Technology Review*
- Science Business
- CBC
- *Popular Mechanics*

Ces médias et plusieurs autres ont mentionné ou cité l'IQC ou ses chercheurs dans la dernière année, illustrant la présence mondiale de l'établissement en tant qu'expert de confiance en quantique.

## Médias sociaux

Du 1<sup>er</sup> avril 2023 au 31 mars 2024, l'IQC a continué d'afficher des publications instructives et attrayantes à l'intention de ses abonnés sur les réseaux sociaux. En moyenne, c'est environ 1,5 publication par jour sur Twitter, LinkedIn, Facebook et Instagram, pour 943 891 vues, 12 531 interactions et 42 218 participations, ce dernier nombre représentant une hausse de 34 % par rapport à l'exercice 2022-2023.

Sur sa chaîne YouTube, il a accumulé près de 128 000 vues et 10 000 heures de visionnement pendant la même période.

Dans la dernière année, l'IQC a connu une croissance appréciable sur tous les réseaux sociaux où il est présent. Le tableau ci-dessous présente les chiffres pour la période du 1<sup>er</sup> avril 2023 au 31 mars 2024.

	Nouveaux abonnés	Total actuel	Hausse
<b>LinkedIn</b>	7 055	17 987	64,5 %
<b>Twitter</b>	2 647	21 516	14,0 %
<b>Instagram</b>	213	1 972	12,1 %
<b>YouTube</b>	1 842	28 767	6,3 %
<b>Facebook</b>	38	5 918	0,7 %
<b>TOTAL</b>	<b>11 795</b>	<b>76 160</b>	



Cette croissance soutenue en ligne montre bien que l'IQC est une autorité reconnue dans le domaine.

En 2023-2024, l'IQC a choisi de concentrer ses publications de médias sociaux sur LinkedIn; en effet, ses contenus visent de plus en plus de professionnels de la quantique des universités, du secteur privé et de la fonction publique, particulièrement présents et actifs sur cette plateforme. Il a choisi de cibler ces groupes pour enrichir ses relations avec les acteurs de la quantique et faire passer la qualité des interactions avant la quantité de publications dans l'ensemble des plateformes de médias sociaux. Au cours de l'année écoulée, ses interactions ont augmenté de 34 % sur l'ensemble des plateformes, malgré la diminution du nombre de publications, ce qui traduit l'efficacité de son approche ciblée pour toucher un public intéressé par son contenu.

L'IQC continue de déployer de nouvelles stratégies pour produire du contenu quantique de grande qualité utile à ses abonnés et d'explorer les possibilités des campagnes ciblées et du contenu indémodable.

Il continue de se présenter comme une autorité en quantique et de positionner le Canada comme chef de file sur la scène internationale, tout en faisant valoir l'importance de comprendre, de financer et de développer les sciences et technologies quantiques.



## Objectif D

Permettre au Canada de tirer parti des avantages économiques et sociaux de la recherche en saisissant les occasions de commercialiser les percées.

**Résultats attendus :** Aider le Canada à tirer parti des retombées économiques et sociales de la science de l'information quantique en saisissant les occasions de commercialiser les percées de la recherche.

Activités planifiées :

- Contribuer à la constitution d'une nouvelle industrie quantique.
- Promouvoir la collaboration entre les chercheurs de l'IQC et l'écosystème entrepreneurial de Waterloo au moyen d'occasions de réseautage et d'événements officiels, en partenariat avec le grand réseau des entreprises en démarrage de la région.

## Maillage entre l'industrie et l'écosystème

L'IQC est la pierre d'assise de l'industrie quantique émergente au Canada. Des entreprises d'autres provinces, comme Photonic Inc. ou Anyon, font des pèlerinages à Waterloo pour utiliser les installations de la région, si bien qu'elles finissent par y avoir des employés à temps plein. La culture entrepreneuriale de l'IQC, combinée au savoir spécialisé de ce carrefour de recherche intensive, crée les conditions nécessaires à une commercialisation vigoureuse des technologies émergentes.

L'IQC a connu une année d'activité entrepreneuriale exceptionnelle en 2023-2024. Dans *Quantum Technology Monitor*, son rapport d'avril 2024, McKinsey & Company note une baisse de 44 % de nouvelles entreprises en démarrage en 2023, par rapport à 2022. L'IQC contre cette tendance, ayant créé deux entreprises, délivré divers brevets et déposé au moins deux demandes de brevets.

Menant des recherches fructueuses à l'IQC depuis maintenant trois ou quatre ans, Christine Muschik a fondé une entreprise, Quantum Creative Minds Inc., afin de commercialiser une partie des travaux réalisés dans son laboratoire.

Pour leur part, Alex Maiercan (étudiante aux cycles supérieurs de l'IQC), Thomas Jennewein et Shihan Sajeed (membre affilié de l'IQC et chercheur invité) ont fondé Phantom Photonics pour tirer profit des nouvelles capacités de détection ayant émergé de la recherche en détection quantique.

La recherche et les technologies novatrices de l'IQC impulsent la fondation de nouvelles entreprises, ce qui a de grandes retombées sur le marché. À ce jour, l'établissement peut se targuer d'avoir entraîné la création de 22 jeunes entreprises encore actives.



## Entreprises quantiques dérivées de l'IQC :

- evolutionQ
- Neutron Optics
- QuantumLaf Inc.
- Universal Quantum Devices
- softwareQ Inc.
- SpinQ
- Aquabits
- Northern Quantum Lights
- Phantom Photonics
- UpScale Quantum Solutions
- Qubo Consulting Corp.
- High Q Technologies LP
- BioGraph Sense Inc.
- Qubic inc.
- Single Quantum Systems
- QEYnet
- Foqus
- Q-Block Computing Inc.
- Aegis Quantum
- Incoherent Vision
- Chiral Quantum Inc.
- Quantum Creative Minds Inc.

*N.B. : Auparavant, les chercheurs n'étaient pas tenus de rapporter leurs demandes de brevets ou leurs activités de commercialisation. Ainsi, le nombre réel de brevets et de permis est inconnu et pourrait être plus élevé.*

Bien que près de 42 % (12/31) des chercheurs principaux de l'IQC aient commercialisé leur expertise et leur recherche avec des entreprises dérivées et des brevets, de jeunes entreprises naissent aussi des laboratoires et des esprits des associés de recherche, des stagiaires postdoctoraux et des étudiants de cycle supérieur. Par ailleurs, les professeurs de l'IQC font du mentorat actif, notamment sous la forme de services-conseils aux entreprises (quantiques ou non), d'encadrement de jeunes diplômés bâtissant une carrière au privé et de collaboration avec des accélérateurs et des centres de développement d'entreprises dans l'écosystème quantique de Waterloo et au-delà.


L'IQC n'est pas sans savoir que les jeunes entreprises quantiques rencontrent des défis uniques pour transposer leurs idées en prototypes, puis en produits viables. Après avoir fait des recherches pour comprendre le type de soutien le plus pertinent pour la communauté d'entreprises en démarrage, l'IQC a commencé à nouer des partenariats avec des incubateurs éprouvés, comme le programme Velocity de l'Université de Waterloo et le Creative Destruction Lab. L'utilité des incubateurs et des accélérateurs pour les jeunes entreprises quantiques est explorée plus loin dans le rapport.

## De l'idée à la technologie utilitaire

Outre les 22 jeunes entreprises listées précédemment, des dizaines d'autres ont été lancées par d'anciens membres de l'IQC (KETS Quantum Security Ltd, Photonic Inc. et bien d'autres). Pour parler de l'origine de leur entreprise, beaucoup commencent par quelque chose comme « nous faisons des recherches dans notre laboratoire... ». Mais comment l'IQC est-il devenu le dénominateur commun de tant d'entreprises? À la base, l'IQC visait à étudier des questions scientifiques fondamentales en vue de créer un outil révolutionnaire : un ordinateur quantique. Pour ce faire, des chercheurs de renommée mondiale ont été invités à Waterloo. Ceux-ci avaient une longue liste de questions, représentant autant de belles occasions pour les plus motivés des étudiants des cycles supérieurs. On a alors mis sur pied des ressources uniques, comme l'Espace d'exploration quantique et l'Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques (QNFCF, pour Quantum-Nano Fabrication and Characterization facility). Vito Loguidice, ancien directeur de la QNFCF, décrit le laboratoire comme un bac à sable où il est possible de tester une multitude de conceptions, sans toutefois dépendre de longs cycles de production : un atout unique au Canada. En outre, l'Université de Waterloo accorde tous les droits de propriété intellectuelle aux chercheurs, ce qui en fait un milieu avantageux pour les jeunes entreprises disposant de peu de liquidités. Là où l'IQC se distingue d'autres instituts de recherche canadiens, c'est par les possibilités qu'il offre : celle d'explorer des idées d'avant-garde, celle de faire de multiples expérimentations et celle d'interagir avec le plus grand bassin de chercheurs de la scène quantique au Canada. Ces possibilités contribuent à attirer les meilleurs étudiants, et les plus motivés. L'IQC leur propose des façons concrètes de tirer profit des occasions en mettant à leur disposition un espace ayant une double visée (recherche et démarrage d'entreprise), de l'équipement et le soutien d'experts. Cette combinaison de possibilités et d'étudiants motivés ne peut que déboucher sur une réussite financière et scolaire, bien souvent simultanément.

À l'IQC, l'excellence de la recherche va de pair avec l'innovation. Fort d'une riche culture d'entrepreneuriat, l'établissement attire et motive les experts en quantique qui choisissent de pousser l'aspiration jusqu'au développement de technologies utilitaires. Voici ses plus grandes réussites postpandémie :

- Après son acquisition de Quantum Benchmark en 2022, Keysight Technologies a choisi de laisser l'entreprise à Waterloo pour qu'elle continue de tirer profit de l'écosystème quantique unique de la région. Quantum Benchmark offre des technologies précieuses, soit des outils pour la caractérisation et la validation des processeurs quantiques qui seront essentiels à la mise en service d'un ordinateur.
- À l'exercice 2022-2023, la jeune entreprise evolutionQ a retenu l'attention de SandboxAQ (une entreprise dérivée d'Alphabet) et des sociétés de capital-risque The Group Ventures et Quantonation, ce qui lui a valu 7 millions de dollars en financement de série A en mai. evolutionQ utilise la distribution quantique de



clés à des fins de sécurité, assurant ainsi la protection de la vie privée promise par les processus physiques fondamentaux.


- En février 2024, High Q Technologies a obtenu un financement de 3,75 millions de dollars du gouvernement fédéral pour le développement d'instruments scientifiques quantiques. Ce montant s'ajoute aux 6,5 millions de dollars que l'entreprise a reçus en 2019. Issue du laboratoire de David Cory, en 2014, High Q connaît une évolution florissante depuis déjà 10 ans, comptant aujourd'hui plus de 10 employés, et peut aspirer à un brillant avenir.

### **Promotion des possibilités offertes par les écosystèmes d'entrepreneuriat**

Outre les deux jeunes entreprises susmentionnées et trois autres ayant atteint la maturité opérationnelle, l'IQC entretient des liens directs avec 18 jeunes entreprises à différentes étapes de leur développement, dont les suivantes :

- Foqus, une jeune entreprise dont nous avons parlé en 2021-2022, tire pleinement parti de l'aide à l'entrepreneuriat offerte à Waterloo et à Toronto. Elle a réussi le volet quantique du programme du Creative Destruction Lab (CDL) en 2021. Depuis ce temps, sa croissance est fulgurante. En 2023, elle comptait au moins six employés (ni fondateurs, ni partenaires) et souhaite actuellement pourvoir au moins deux autres postes, dont l'affichage est déjà en cours, avec des candidats possédant préférentiellement une maîtrise et ayant été au moins exposé à la science quantique. Vu les qualifications souhaitées pour le rôle, il est possible que le recrutement se fasse à l'IQC.
- Qubo Consulting Corp., dirigée par Katanya Kuntz, associée de recherche à l'IQC, repose sur l'expertise avérée de cette dernière en communications quantiques et contribue à intégrer la science quantique dans divers secteurs, comme l'ingénierie des radiofréquences et des micro-ondes. En 2023-2024, Qubo offrait, en partenariat avec Mitacs, son premier cours menant à une microcertification axé sur les connaissances et l'entrepreneuriat en quantique. Depuis ce temps, l'entreprise a commencé à collaborer avec Alberta Catalyzer, un incubateur qui soutient les entreprises technologiques albertaines.
- Single Quantum Systems Inc., est l'entreprise pour laquelle Michael Reimer, professeur agrégé, conseiller scientifique en chef et cofondateur (avec J.-P. Bourgoïn – diplômé de l'IQC, chef de la direction et cofondateur), a remporté le concours de présentations 2023 de Photons Canada/Photonics North. Forte de nombreux contrats avec le gouvernement fédéral, d'un argumentaire efficace et d'une stabilité financière, son avenir semble rayonnant.

Il faut noter non seulement le nombre d'entreprises en démarrage directement associées à l'IQC, mais leurs divers stades de développement et de croissance.



La plupart de ces jeunes entreprises sont situées en périphérie de l'IQC, et accessibles par le même circuit d'autobus. Ainsi, un étudiant des cycles supérieurs peut prendre l'autobus à l'IQC et se rendre directement à son stage au QVIL, à son emploi à High Q ou à l'Accelerator Centre pour démarrer son entreprise sans avoir à faire de transfert.

L'IQC entretient aussi des liens avec de jeunes entreprises de Toronto (Foqus), de Sherbrooke (Qubic), de Montréal (Anyon), de Calgary (Qubo) et de Vancouver (iQbit et Photonic), ainsi que des liens étroits avec des entreprises plus matures de Toronto (Xanadu) et de Vancouver (D-Wave).

Si l'IQC ne jouait pas ce rôle de plaque tournante du réseau d'information quantique au pays, le Canada ne serait sans doute pas considéré comme un chef de file mondial en la matière.


C'est grâce à des investissements du gouvernement fédéral et de philanthropes privés dans les 10 dernières années que l'IQC est devenu cette plaque tournante du Canada, ayant le talent, la capacité et l'influence nécessaires pour rassembler les universitaires, entrepreneurs et secteurs de partout au pays. Ces investissements initiaux et les progrès rapides de l'IQC sont le socle du leadership canadien en information, en science et en technologies quantiques. Et ce leadership se répercute à l'échelle du pays, avec la création d'autres centres quantiques et la publication de la Stratégie quantique nationale, qui renforce la position du Canada.

**Promouvoir la collaboration entre les chercheurs de l'IQC et l'écosystème entrepreneurial de Waterloo au moyen d'occasions de réseautage et d'événements officiels, en partenariat avec le grand réseau des entreprises en démarrage de la région**

Avec plus de 40 % de son corps professoral actuel contribuant à la commercialisation de technologies émergeant de ses laboratoires – y compris d'entreprises en démarrage qui lui sont directement ou indirectement associées –, l'IQC contribue à créer les conditions favorables à la réussite des jeunes entreprises. À eux seuls, les membres de l'IQC détiennent près d'une centaine de brevets, et durant l'exercice 2023-2024, en ont obtenu d'autres, dont certains provisoires et en attente d'examen.

Ce succès économique ne relève pas du hasard. Comme il a déjà été mentionné, la conférence Quantum Connections est un événement unique qui réunit d'éminents universitaires, des sociétés de capital-risque, des avocats spécialisés en propriété intellectuelle, de brillants dirigeants et des entrepreneurs potentiels pour des discussions ciblées aux résultats tangibles.

L'IQC a aussi organisé les séminaires du Creative Destruction Lab sur une base trimestrielle pour donner aux membres un accès au plus important incubateur au Canada. Michele Mosca (directeur général d'évolutionQ, professeur au Département de combinatoire et d'optimisation et cofondateur de l'IQC) y agit d'ailleurs comme mentor. Étant proche de Waterloo, il a non seulement fondé une entreprise prospère avec Nobert



Lütkenhaus, directeur général de l'IQC, mais a aussi offert de précieux conseils à softwareQ et Foqus. MM. Jennewein et Pushin travaillent aussi avec des entreprises cofondées par des membres étudiants de l'IQC (Phantom Photonics et Incoherent Vision, respectivement).

Par ailleurs, l'IQC organise des visites pour des bailleurs de fonds potentiels : organes de financement gouvernementaux, multinationales et autres investisseurs. L'IQC organise aussi, en fonction des disponibilités et des intérêts, des rencontres entre les investisseurs et les fondateurs afin que la réussite économique se répercute sur la région de Waterloo.

En 2022, l'IQC a lancé IQC Canada Inc., une section à but non lucratif visant à fournir un accompagnement stratégique pour la commercialisation et la mise en marché afin de décloisonner la recherche quantique. Dans cette optique, l'IQC et IQC Canada Inc. mobiliseront leur expertise et leurs ressources pour consolider l'excellence et le leadership mondial du Canada en matière de sciences, de technologies et d'innovation.

En 2023, l'IQC inaugurerait la conférence Quantum Connections afin de rassembler divers partenaires du secteur du développement technologique canadien, notamment des sociétés de capital-risque, des entités gouvernementales, des chercheurs, des entrepreneurs et des groupes commerciaux ayant des cas d'utilisation bien établis en matière de nouvelles technologies quantiques.

L'IQC crée en amont un environnement où les membres peuvent profiter d'occasions d'entrepreneuriat et rester au fait de ce qui se passe au pays et dans le monde, afin de donner la chance à nos chercheurs de promouvoir leur travail. Cette activité a fait ses preuves auprès de jeunes entreprises issues de l'IQC et d'entreprises exerçant leurs activités dans la région de Waterloo, qui peuvent profiter de la manne de personnel hautement qualifié issu de l'IQC.

## Objectif E

Cultiver la réputation du Canada comme carrefour de la recherche sur la science et les technologies de l'information quantique.

**Résultats attendus :** Promouvoir le Canada comme carrefour de la recherche sur les technologies d'information quantique.

Activités planifiées :

- Présenter le Canada à l'international comme un carrefour de la recherche sur les technologies quantiques en participant à des initiatives quantiques mondiales (conférences, discussions, séminaires et autres événements).
- Agir comme catalyseur des collaborations entre les scientifiques en information quantique du Canada et du monde.
- Contribuer à la communauté nationale et internationale de la science de l'information et des technologies quantiques en organisant des conférences et en participant à celles d'autres établissements au Canada et à l'étranger.
- Organiser trois conférences s'adressant à un public multidisciplinaire.
- Continuer d'accueillir des scientifiques et des universitaires de partout dans le monde à l'IQC.
- Inviter les acteurs du secteur et d'organismes gouvernementaux étrangers à promouvoir le Canada comme étant un partenaire fiable et incontournable en science de l'information quantique.




## **Promouvoir le Canada comme carrefour international de la recherche sur les technologies quantiques en participant à des initiatives quantiques mondiales**

En recherche ou en technologies, l'information quantique demeure une science de pointe. Figurant parmi les meilleurs instituts de recherche quantique au monde – et parmi les plus anciens –, l'IQC doit son succès à une communauté d'universitaires aux intérêts similaires. Les membres du corps professoral ayant d'autres affectations (entre autres MM. Cory, Mosca, Wilson et Laflamme) supervisent des étudiants hors de leur département respectif et exposent ces étudiants à une diversité d'idées qui leur auraient peut-être échappé dans des programmes traditionnels. La présence d'enseignants se distinguant par leur excellence, comme Rajibul Islam (prix du président pour l'excellence en enseignement 2021 et prix d'excellence en enseignement de la science 2024) et Adam Wei Tsen (prix d'excellence en recherche scientifique 2023), reflète l'importance que revêtent les étudiants et leur carrière à la faculté.

Outre pour les professeurs et chercheurs postdoctoraux de renom, les étudiants viennent à l'IQC pour développer un sentiment d'appartenance et pour les apprentissages.

Par exemple, Sara Zafar Jararzadeh s'est impliquée à fond dans la communauté quantique de l'IQC pendant près d'une décennie. Elle est arrivée à l'Université de Waterloo en 2016 pour parfaire ses compétences en cryptographie, dans le cadre du programme CryptoWorks21, tout en poursuivant ses études doctorales avec Gilles Brassard et Louis Salvail à l'Université de Montréal. Sommité en quantique au Canada, M. Brassard a indiqué à M<sup>me</sup> Zafar Jararzadeh qu'elle pourrait trouver, à l'IQC, une grande communauté de chercheurs partageant ses intérêts. Suivant son passage à CryptoWorks21, elle a fait un stage dans l'entreprise ISARA, puis à la RBC avant d'obtenir son doctorat. Elle a ensuite travaillé à l'IQC en tant que chercheuse invitée à long terme, puis comme stagiaire postdoctorale avant de commencer sa carrière à la RBC, pour ensuite la poursuivre à Synopsys. Tout ce temps, elle a maintenu ses liens avec l'IQC par ses travaux de recherche et rencontré de nombreux experts de la cryptographie de passage à l'IQC en raison de leurs intérêts communs. Récemment, en plus de poursuivre sa carrière, M<sup>me</sup> Zafar Jararzadeh est retournée à CryptoWorks21 pour guider la transition du programme vers la prochaine phase de normes de cryptographie. Alors que le National Institute of Standards and Technology (NIST), l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI), l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et le protocole d'intersection d'ensembles privés (PSI) se penchent sur la demande de certification de nouveaux protocoles de cryptographie postquantique, M<sup>me</sup> Zafar Jararzadeh utilisera ses relations universitaires et professionnelles pour que la prochaine génération d'étudiants de l'IQC soit exposée au vaste éventail de compétences nécessaires à la mise en œuvre de ces normes dans les entreprises des secteurs public et privé. Venue à Waterloo pour y trouver une communauté, c'est elle qui, une décennie plus tard, contribue à la renforcer.



L'IQC rassemble aussi une communauté entrepreneuriale. Jean-Philippe Bourgoin (chef de la direction et cofondateur de Single Quantum Systems) savait qu'il voulait développer de nouvelles technologies dans une entreprise dynamique. Il est arrivé à l'IQC en 2010, et a obtenu son doctorat en 2014. Il a ensuite travaillé avec Michael Reimer pour promouvoir les technologies dans différentes jeunes entreprises du secteur, dont QEYnet et SQS. Une décennie plus tard, en 2020, Alex Maieréan est arrivée de l'Université de Toronto en tant qu'assistante de recherche de premier cycle. Ayant commencé ses études de premier cycle en finance, elle a finalement obtenu son diplôme en mathématiques. Attirée à Waterloo pour le foisonnement d'idées de l'IQC – mais aussi pour les droits de propriété intellectuelle octroyés à 100 % aux inventeurs –, M<sup>me</sup> Maieréan a commencé sa maîtrise en mathématiques appliquées en 2021, sous la direction de Nobert Lütkenhaus (directeur général de l'IQC et dirigeant principal de la technologie d'évolutionQ) et Thomas Jennewein (directeur général d'UQDevices). En deux ans, elle s'est retrouvée à promouvoir l'intégration de technologies de détection de pointe fondées sur la cohérence quantique dans des applications industrielles, à titre de directrice générale et cofondatrice de Phantom Phototonics. Des systèmes de lidar rigoureux à faible consommation d'énergie et à haute résolution trouvent des applications dans divers domaines : le transport (dont les véhicules autonomes), l'exploitation minière, l'agriculture de précision, la navigation par satellite et la défense. Une des premières étudiantes à la maîtrise à démarrer son entreprise à l'IQC, M<sup>me</sup> Maieréan fait foisonner la communauté entrepreneuriale de Waterloo.

Ces membres de l'IQC participent activement aux initiatives quantiques mondiales; grâce au travail de M<sup>me</sup> Zafar Jararzadeh, qui modifiera le programme de Cryptoworks21 pour y intégrer les nouvelles normes de cryptographie publiées par l'ETSI, l'ISO, la NIST et le PSI, les futurs membres de l'IQC seront bien préparés à la transition entre l'université et le marché du travail. Bien que ce travail semble obscur, il aura une incidence sur les internautes pour des décennies à venir.

En outre, les améliorations en matière de détection quantique sont susceptibles de donner lieu aux prochaines technologies révolutionnaires de cette quête mondiale de l'ordinateur quantique. La promotion de l'adoption de telles technologies contribuera non seulement à améliorer la vie des gens au quotidien, mais aussi à faire évoluer l'ensemble du projet de science de l'information quantique.

## **Agir comme catalyseur des collaborations entre les scientifiques en information quantique**

Nous bénéficions d'une solide réputation internationale, d'une richesse de talents et d'une importante infrastructure. L'IQC et les partenaires de l'écosystème quantique de Waterloo travaillent à différentes échelles pour développer et commercialiser des outils quantiques. L'IQC est le berceau de nombreuses collaborations parce que la communauté est suffisamment importante pour pouvoir discuter de cryptographie de pointe, de lidar fondé sur la cohérence quantique ou de chimie quantique ultrafroide autour de la machine à café. Si un étudiant de l'IQC souhaite démarrer son entreprise, il


obtiendra tout le soutien nécessaire pour le faire. Si un autre a pour ambition de détenir une chaire de recherche du Canada en science quantique, il trouvera des titulaires de chaire parmi nos professeurs et diplômés de qui s'inspirer pour la suite de leur carrière. Si un troisième souhaite obtenir un poste de professeur dans l'un des 15 pays où nos anciens étudiants en détiennent un, il trouvera des modèles. Beaucoup de fonctionnaires, spécialistes du droit, professeurs, fondateurs et chercheurs sont passés par l'IQC, et plusieurs d'entre eux sont toujours en contact bien des années après leur départ. Par exemple, Rahul Jain a fait un stage postdoctoral à l'IQC avec Richard Cleve de 2006 à 2008. Plus de 15 ans plus tard, et bien qu'il soit à l'autre bout du monde (Centre for Quantum Technologies, Singapour), il continue de collaborer avec Ashwin Nayak, professeur à l'IQC, et de recommander l'IQC à ses étudiants (Srijita Kundu, actuellement stagiaire postdoctorale à l'IQC, étant la plus récente).

## Visiteurs universitaires et scientifiques à long terme

L'IQC reçoit des visiteurs universitaires d'organisations du monde entier. Ces collègues et collaborateurs viennent à Waterloo pour échanger avec des universitaires émérites, participer à des travaux de recherche de pointe et collaborer avec un groupe diversifié d'experts dans un centre de science quantique de calibre mondial. Pleinement remis de la pandémie, l'IQC a cette année accueilli 95 visiteurs représentant de grands centres de recherche internationaux, des entreprises quantiques de pointe, des entités gouvernementales et de jeunes entreprises souhaitant collaborer avec des experts du domaine :

<b>Centres de recherche internationaux</b>	<b>Grandes entreprises</b>	<b>Jeunes entreprises et organisations gouvernementales</b>
Harvard	Google Quantum AI	Craft Prospect Ltd
Université de Toronto	Ernst & Young	Conseil national de recherches du Canada
Université Yale	NTT Research	Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique
Université de technologie de Delft	Apple	National Institute of Standards and Technology
QuSoft, Research Centre for Quantum Software (Pays-Bas)	IBM Research	Bluefors Inc.
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Sandia National Laboratories	Xanadu Computing Technologies

Dans la dernière année, l'IQC a établi et développé diverses relations avec des universités et des organisations de recherche ou de technologies quantiques au Canada.



Il suffit de regarder tous les prestigieux visiteurs de passage pour des recherches, des collaborations et des échanges de connaissances pour voir que le Canada et l'IQC sont reconnus comme une force mondiale en quantique; l'IQC attire constamment les plus grands cerveaux des centres et des entreprises de recherche de partout.

La liste complète des visiteurs universitaires et scientifiques se trouve à l'annexe H (page 112).

## **Promouvoir les collaborations en participant à des conférences nationales et internationales**

L'IQC ne se contente pas d'attirer les meilleures universitaires à Waterloo en vue de forger des collaborations; son corps professoral a également été invité à prendre la parole à plus d'une centaine de conférences scientifiques partout dans le monde. Voici quelques conférences scientifiques auxquelles les membres de l'IQC ont pris part, à titre de conférenciers ou de participants. La liste complète se trouve à l'annexe G (page 101).

- *Assorted experiments with atoms in hollow-core fibers* (« Expériences variées avec des atomes dans des fibres à cœur creux »), SPIE Photonics West
- *Next-generation photonic source based on lateral GaAs/AlGaAs heterostructure devices* (« Source photonique de prochaine génération fondée sur des composants à hétérostructure en GaAs/AlGaAs »), Canadian semiconductor science and technology conference
- *How to simulate measurement without computing marginals* (« Simulation de mesures sans calcul des marginales »), série de séminaires sur la science de l'informatique quantique Qiskit d'IBM
- *Quantum information processing with trapped ions* (« Traitement de l'information quantique par ions piégés »), 10<sup>th</sup> international Petra School of Physics, Amman
- *Feshbach Resonances and Ultracold Chemistry* (« Résonances de Feshbach et chimie ultrafroide »), atelier 2023 sur les molécules ultrafroides, Université de Varsovie
- *Canada's first quantum communication satellite* (« Le premier satellite de communication quantique du Canada »), conférence Photonics for Quantum, Rochester, New York
- *Introduction to Quantum Approximate Algorithms* (« Introduction aux algorithmes d'approximation quantique »), séminaire spécial, Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon, Corée
- *Deep Neural Network Models for Random Telegraph Signals* (« Modèle de réseau de neurones profond pour les signaux télégraphiques aléatoires »), atelier sur la quantique et l'intelligence artificielle, Massachusetts Institute of Technology (MIT)

- *Quantum Potential* (« Potentiel quantique »), Conseil des académies canadiennes (ISDE et CNRC), Ottawa
- *The quantum internet and why satellites will be needed* (« L'internet quantique et l'importance des satellites »), symposium QIT46
- *Rate-Distortion Theory for Mixed States* (« La théorie débit-distorsion pour les états mixtes »), International Centre for Mathematical Sciences (ICMS), Édimbourg
- *Investigation of coherence of niobium-based resonators enabled by a fast-sealing microwave cavity* (« Étude de la cohérence de résonateurs en niobium dotés de cavités micro-ondes à remplissage rapide »), D-Wave Quantum, Vancouver
- *Quantum Communication beyond QKD* (« Communication quantique au-delà de la DQC »), réunion de collaboration de l'Alliance for Research and Applications of Quantum Network Entanglement (ARANE), Calgary (Alberta)
- *Developing iontronics for quantum materials and neuromorphic applications* (« Développement de l'iontronique pour les matériaux quantiques et les applications neuromorphiques »), International Conference on Electronic Information and Communication Technology 2023 de l'IEEE, Qingdao, Chine
- *On hiding quantum factoring inside simulation algorithms* (« Sur l'art de dissimuler une factorisation quantique dans des algorithmes de simulation »), QIT Consortium, NTT Research
- *Hardware efficient quantum computing using qudits* (« Utilisation de l'informatique quantique de façon matériellement optimale avec les qudits »), Quantum Days 2024, Calgary, Alberta
- *Bounds on Sample Complexity via Information Theory* (« Limites sur la complexité des échantillons au moyen de la théorie de l'information »), séance sur la théorie de l'information quantique, Réunion d'été de la SMC, Ottawa
- *Neutron Interferometry and structured waves of matter and light* (« Interférométrie des neutrons et ondes structurées de matière et de lumière »), sixième réunion conjointe de la Division de physique nucléaire de l'APS et la Société de physique du Japon, Hawaï
- *Quantum Information Processing with Barium Ions* (« Traitement de l'information quantique avec ions de baryum »), Gordon Research Conference in Atomic Physics, Newport, Rhode Island
- *Quantum Information* (« Information quantique »), Gordon Research Conference in Atomic Physics, Les Diablerets (Suisse)





## Visites et réunions à l'IQC

Outre les universitaires invités et les présentations réalisées par des professeurs dans plus de 130 événements destinés à divers auditoires, l'IQC organise des visites de groupes susceptibles de promouvoir la science quantique auprès de nouveaux groupes universitaires ou d'autres populations stratégiques. En 2023-2024, l'IQC a accueilli plus de 35 délégations, pour un total de plus de 450 personnes. Il a notamment reçu, lors de visites gouvernementales, des ministres de la France, de Singapour, de la Corée, des Pays-Bas, de l'Autriche et du Canada. Les groupes industriels représentaient notamment les domaines des sciences de la vie, de l'automobile, de la comptabilité et des placements, des laboratoires scientifiques, de la cryptographie et de la fabrication de pointe. Les délégations universitaires, quant à elles, comprenaient des représentants d'instituts d'intelligence artificielle, de parcs de recherche et de technologie, de groupes de technologies profondes et d'incubateurs, ainsi que des professeurs et chercheurs qui ne pouvaient rester plus longtemps.


## Cultiver la réputation du Canada comme carrefour de la recherche sur les technologies de l'information quantique

À l'IQC, beaucoup de personnes s'affairent à cultiver la réputation du Canada comme carrefour de la recherche sur les technologies quantiques. À la communauté interne, aux invités à long terme, aux initiatives du corps professoral pour faire rayonner l'établissement et aux visites susmentionnées, s'ajoutent de nombreuses initiatives. Au fil du temps, les chercheurs ont collaboré avec l'équipe des communications et des initiatives stratégiques pour proposer une vision cohérente de l'avenir de la quantique et inviter le monde à appréhender ce message à Waterloo. L'IQC utilise divers outils pour promouvoir le Canada et Waterloo comme lieux inclusifs pour la science de l'information quantique. Comme il a été mentionné, les chercheurs ont participé à des conférences aux quatre coins du monde pour mettre de l'avant la recherche, et l'IQC a invité des chercheurs émérites du monde entier à venir à Waterloo et à collaborer avec son personnel. L'établissement organise aussi des visites pour des représentants de gouvernements de l'étranger, d'ONG axées sur la science et le leadership et d'organismes partenaires d'un bout à l'autre du Canada pour promouvoir la place du Canada et de Waterloo comme plaque tournante de la recherche quantique. Le dernier maillon dans cette chaîne d'événements est l'organisation d'une grande conférence intersectorielle sur divers volets de l'écosystème de développement des technologies visant à faire le point sur la quantique au Canada et à discuter de ce qui lui assurera un avenir florissant, en compagnie d'experts issus d'universités, de la fonction publique, du secteur privé et de jeunes entreprises.

## Quantum Connections

Démarrer et exploiter une entreprise demande beaucoup de temps et d'efforts. Mais en démarrer une dans un domaine de pointe après avoir passé une décennie à parfaire des compétences très précises est une tâche d'autant plus colossale. La conférence Quantum






Connections vise à réunir dans une même pièce des chercheurs de renom (de divers établissements canadiens) et des investisseurs, des gestionnaires et des individus ayant une expérience entrepreneuriale. La première conférence Quantum Connections, qui s'est tenue en mai 2023, mettait à l'honneur de jeunes entreprises issues de l'Université de Toronto, de l'Université de Sherbrooke, de l'Université de Calgary et de l'Université de la Colombie-Britannique, ainsi que des chercheurs de l'IQC. S'y trouvaient aussi des représentants de cabinets d'avocats, de sociétés de capital-risque, d'incubateurs et de la fonction publique. Les jeunes entreprises y ont eu l'occasion de créer des liens; Qubo et Qubic ont notamment eu l'occasion de collaborer pour vulgariser des détails techniques pour des publics de profanes. Ce rassemblement est axé sur les activités de réseautage visant à favoriser la collaboration et l'établissement de liens entre les secteurs universitaire, privé et public. Par un mélange de discussions en groupe et de discours-programme, la conférence a jeté un regard critique sur les enjeux auxquels est confronté le Canada devant l'expansion de l'écosystème quantique mondial et présenté des suggestions et des mesures proactives que peuvent appliquer les professionnels du domaine pour aider le pays à conserver sa place de choix sur la scène internationale de la quantique.

Quantum Connections a connu un franc succès, accueillant plus de 150 professionnels sur deux jours et récoltant des commentaires fort positifs des conférenciers, des panélistes et des participants. L'IQC compte récidiver en mai 2024, ce qui devrait générer des retombées de plusieurs millions de dollars pour la croissance des entreprises, la création d'emploi et la richesse au Canada.

Outre Quantum Connections, l'IQC a aussi organisé l'atelier Security Proof 2023, mentionné précédemment, l'atelier WIN-IQC et les ateliers Quantum Innovators, d'une durée d'une semaine. Si la conférence Quantum Connections était axée sur les applications entrepreneuriales et industrielles nécessitant des solutions quantiques, ce type de conférence universitaire contribue plutôt à renforcer la réputation du Canada comme communauté de recherche de pointe hautement inclusive, tant pour les experts canadiens qu'internationaux. L'IQC est au cœur de l'avancement des technologies quantiques au Canada, tant du point de vue des entreprises que de la recherche.

Le Canada a été un précurseur pour reconnaître l'importance de la quantique, et grâce au soutien essentiel des gouvernements fédéral et provinciaux, des universités et du milieu philanthropique, nous sommes un chef de file en technologies quantiques. L'IQC déborde de talents, d'expertise et d'infrastructures spécialisées nécessaires à l'avancement d'applications quantiques. Cette richesse contribue à attirer des scientifiques souhaitant travailler et étudier à l'IQC et au Canada. Malgré l'étendue du pays, l'écosystème quantique est tissé serré – la plupart des chercheurs en quantique du monde entier sont passés par l'IQC d'une façon ou d'une autre. Bien que nos recherches au plus haut niveau international soient une force motrice, nous visons surtout, au pays, à favoriser la collaboration pour l'enrichissement de la communauté et de la nation. L'IQC embauche les esprits les plus brillants, qui deviennent ensuite le ciment de notre communauté, contribuent à diffuser l'information et cultivent la prochaine génération de scientifiques. Il ouvre ses portes à des chercheurs qui restent à long terme afin de faciliter la collaboration et ainsi d'attirer au Canada d'autres chercheurs de partout dans



le monde. Cette expertise et cette culture, combinées à un écosystème entrepreneurial fortement enraciné, sont signe que tous peuvent bénéficier de possibilité tout au long du continuum de l'innovation : étudier la signification d'un avantage quantique (mathématiques pures), travailler sur les satellites quantiques ou sortir les innovations des murs de l'université pour les faire entrer sur le marché. Ici, les possibilités sont infinies.

## ANNEXES

### A.Évaluation et atténuation des risques

RÉPERCUSSIONS	PROBABILITÉ			
	FORTES	FAIBLE 6	MOYENNE 8	ÉLEVÉE 9
	MOYENNES	3	5	7
	FAIBLES	1	2	4

Facteur de risque	Répercussions	Probabilité	Cote de risque	Justification de la cote	Mesures d'atténuation
Roulement de l'effectif professoral nuisant aux résultats et à la réputation de la recherche	Fortes	Moyenne	8	L'IQC produit de nombreux résultats, ce qui contribue à sa réputation pour l'excellence. Son corps professoral a aussi un fort esprit entrepreneurial, et la demande de talents en quantique explose dans le secteur privé. Cette grande demande crée un environnement favorable à la mobilité de l'effectif.	Continuer d'explorer et de mettre en œuvre de nouvelles approches de collaboration virtuelle.  Recruter plus activement pour compenser la concurrence nationale et internationale accrue dans l'embauche de personnel hautement qualifié.
Technologies transformatrices qui réduisent la pertinence des travaux en cours	Moyennes	Faible	3	Si les travaux de l'IQC deviennent moins pertinents, le personnel hautement qualifié et les investisseurs tourneront leur attention ailleurs.	Continuer d'orienter les travaux dans des sous-domaines d'actualité en science de l'information et génie quantiques.  Faire participer des autorités en quantique externes au comité consultatif scientifique de l'IQC pour avoir leur avis objectif sur les sujets et le progrès de la recherche.  Continuer de collaborer avec des partenaires pour harmoniser la recherche avec les priorités sociétales et les moteurs économiques.

Difficulté à recruter les meilleurs éléments du personnel hautement qualifié	Fortes	Moyenne	8	Selon les estimations de McKinsey, 50 % des emplois en quantique ne sont pas pourvus. Pour résoudre cette pénurie de personnel compétent, plus de 50 programmes en Amérique du Nord ont été créés dans la dernière année. L'IQC rivalise non seulement avec le secteur privé, mais aussi avec d'autres établissements de recherche, vu la demande croissante pour des diplômés en science quantique.	Diversifier les marchés et les pays pour le recrutement d'étudiants. Promouvoir l'IQC suffisamment. Assurer l'excellence de la recherche dans un environnement de calibre mondial où le personnel hautement qualifié dispose d'occasions uniques et du soutien d'une communauté inclusive.
Baisse du financement	Fortes	Moyenne	8	La baisse du financement entraînera une réduction et une restructuration des opérations. Les activités seront écourtées, ce qui ralentira les progrès en matière de rayonnement, de communication et de soutien.	Diversifier le plus possible les sources de financement, accroître les partenariats avec d'autres bénéficiaires du Fonds stratégique des sciences et d'autres carrefours de l'écosystème quantique pour maintenir le rendement en recherche et en communication.

## B. Publications

Du 1<sup>er</sup> avril 2023 au 31 mars 2024 (indexées)

1. Zutt, Nicholas.(2023) An object-oriented python cookbook in quantum information theory and quantum computing. CONTEMPORARY PHYSICS
2. Zutt, Nicholas.(2022) Discovering the nature of light: the science and the story. CONTEMPORARY PHYSICS
3. Donohue, John M..(2023) Fresnel time lens empowers quantum networks. NATURE PHOTONICS
4. Barnum, Howard; Graydon, Matthew A.; Wilce, Alex.(2023) Locally Tomographic Shadows (Extended Abstract). ELECTRONIC PROCEEDINGS IN THEORETICAL COMPUTER SCIENCE
5. Arrow, Joan Etude; Marsh, Sara E.; Meyer, Josephine C..(2023) A Holistic Approach to Quantum Ethics Education. 2023 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTUM COMPUTING AND ENGINEERING, QCE
6. Kapshikar, Upendra; Kundu, Srijita.(2023) On the Hardness of the Minimum Distance Problem of Quantum Codes. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY
7. Schaeffer, Luke; Shallit, Jeffrey.(2023) The first-order theory of binary overlap-free words is decidable. CANADIAN JOURNAL OF MATHEMATICS-JOURNAL CANADIEN DE MATHEMATIQUES
8. Binai-Motlagh, Ali; Day, Matthew; Videnov, Nikolay; Greenberg, Noah; Senko, Crystal; Islam, Rajibul.(2023) A guided light system for agile individual addressing of Ba+ qubits with 10<sup>-4</sup> level intensity crosstalk. QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY
9. Valluri, Dinesh; Campbell, Rory.(2023) On the Space of Coefficients of a Feedforward Neural Network. 2023 INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, IJCNN
10. Yang, Rui; Bosch, Samuel; Kiani, Bobak; Lloyd, Seth; Lupascu, Adrian.(2023) Analog Quantum Variational Embedding Classifier. PHYSICAL REVIEW APPLIED
11. Janzen, N.; Dai, X.; Ren, S.; Shi, J.; Lupascu, A..(2023) Tunable coupler for mediating interactions between a two-level system and a waveguide from a decoupled state to the ultrastrong coupling regime. PHYSICAL REVIEW RESEARCH
12. Krynski, Joanna; Sultana, Nigar; Lee, Youn Seok; Makarov, Vadim; Jennewein, Thomas.(2023) Protocols for Healing Radiation-Damaged Single-Photon Detectors Suitable for Space Environment. IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE
13. Paddock, Connor; Slofstra, William; Zhao, Yuming; Zhou, Yangchen.(2023) An Operator-Algebraic Formulation of Self-testing. ANNALES HENRI POINCARÉ
14. Tjoa, Erickson.(2023) Nonperturbative simple-generated interactions with a quantum field for arbitrary Gaussian states. PHYSICAL REVIEW D
15. Ayyash, M.; Xu, X.; Mariantoni, M..(2024) Resonant Schrödinger cat states in circuit quantum electrodynamics. PHYSICAL REVIEW A
16. Gunderman, Lane G..(2023) Transforming collections of Pauli operators into equivalent collections of Pauli operators over minimal registers. PHYSICAL REVIEW A
17. Fillion-Gourdeau, Francois; Lorin, Emmanuel; Maclean, Steve.(2023) Inverse Design of Strained Graphene Surfaces for Electron Control. COMMUNICATIONS IN COMPUTATIONAL PHYSICS
18. Tupkary, Devashish; Lutkenhaus, Norbert.(2023) Using Cascade in quantum key distribution. PHYSICAL REVIEW APPLIED
19. Vallieres, Simon; Fillion-Gourdeau, Francois; Payeur, Stephane; Powell, Jeffrey; Fourmaux, Sylvain; Legare, Francois; Maclean, Steve.(2023) Tight-focusing parabolic reflector schemes for petawatt lasers. OPTICS EXPRESS
20. Brannan, Michael; Elzinga, Floris; Harris, Samuel J.; Yamashita, Makoto.(2023) Crossed Product Equivalence of Quantum Automorphism Groups of Finite Dimensional C\*-Algebras. INTERNATIONAL MATHEMATICS RESEARCH NOTICES
21. Araiza, Roy; Cai, Jihong; Chen, Yushan; Holtermann, Abraham; Hsu, Chieh; Mohan, Tushar; Wu, Peixue; Yu, Zeyuan.(2024) A note on the stabilizer formalism via noncommutative graphs. QUANTUM INFORMATION PROCESSING
22. Naeem, Manar; Gallock-Yoshimura, Kensuke; Mann, Robert B..(2023) Mutual information harvested by uniformly accelerated particle detectors. PHYSICAL REVIEW D
23. Majidy, Shayan.(2023) A Unification of the Coding Theory and OQEC Perspectives on Hybrid Codes. INTERNATIONAL JOURNAL OF THEORETICAL PHYSICS
24. El Sabeh, Remy; Bohm, Jessica; Ding, Zhiqian; Maaz, Stephanie; Nishimura, Naomi; El Hajj, Izzat; Mouawad, Amer E.; Cooper, Alexandre.(2023) Efficient algorithms to solve atom reconfiguration problems. II. Assignment-rerouting-ordering algorithm. PHYSICAL REVIEW A

25. Liu, Michael Liaofan; Kanitschar, Florian; Arqand, Amir; Tan, Ernest Y. -Z..(2023) Lipschitz continuity of quantum-classical conditional entropies with respect to angular distance and related properties. *PHYSICAL REVIEW A*
26. Peters, Evan; Li, Andy C. Y.; Perdue, Gabriel N..(2023) Perturbative readout-error mitigation for near-term quantum computers. *PHYSICAL REVIEW A*
27. Nayak, Ashwin; Yuen, Henry.(2023) Rigidity of Superdense Coding. *ACM TRANSACTIONS ON QUANTUM COMPUTING*
28. Akhmetzhanov, Dmitry; Borneman, Troy W.; Taminiau, Ivar; Sadeghi, Saba; Mohebbi, Hamid R.; Cory, David G..(2023) Electron spin resonance spectroscopy using a Nb superconducting resonator. *APPLIED PHYSICS LETTERS*
29. Peters, Evan; Schuld, Maria.(2023) Generalization despite overfitting in quantum machine learning models. *QUANTUM*
30. Bravyi, Sergey; Chowdhury, Anirban; Gosset, David; Havlicek, Vojtech; Zhu, Guanyu.(2024) Quantum Complexity of the Kronecker Coefficients. *PRX QUANTUM*
31. Polo-Gomez, Jose.(2024) Thermodynamic bound on quantum state discrimination. *PHYSICAL REVIEW E*
32. Perche, T. Rick; Zambianco, Matheus H..(2023) Duality between amplitude and derivative coupled particle detectors in the limit of large energy gaps. *PHYSICAL REVIEW D*
33. Nahman-Levesque, O.; Sarenac, D.; Lailey, O.; Cory, D. G.; Huber, M. G.; Pushin, D. A..(2023) Quantum information approach to the implementation of a neutron cavity. *NEW JOURNAL OF PHYSICS*
34. Mukhopadhyay, Priyanka; Wiebe, Nathan; Zhang, Hong Tao.(2023) Synthesizing efficient circuits for Hamiltonian simulation. *NPJ QUANTUM INFORMATION*
35. Kundu, Srijita; Tan, Ernest Y. -Z..(2023) Composably secure device-independent encryption with certified deletion. *QUANTUM*
36. Woodman, Olivia; Pasharavesh, Abdolreza; Wilson, Christopher; Bajcsy, Michal.(2023) Detecting Single Microwave Photons with NV Centers in Diamond. *MATERIALS*
37. Griend, Arianne Meijer - van de; Li, Sarah Meng.(2023) Dynamic Qubit Routing with CNOT Circuit Synthesis for Quantum Compilation. *ELECTRONIC PROCEEDINGS IN THEORETICAL COMPUTER SCIENCE*
38. Cimring, Barry; El Sabeh, Remy; Bacvanski, Marc; Maaz, Stephanie; El Hajj, Izzat; Nishimura, Naomi; Mouawad, Amer E.; Cooper, Alexandre.(2023) Efficient algorithms to solve atom reconfiguration problems. I. Redistribution-reconfiguration algorithm. *PHYSICAL REVIEW A*
39. Kanitschar, Florian; George, Ian; Lin, Jie; Upadhyaya, Twesh; Lutkenhaus, Norbert.(2023) Finite-Size Security for Discrete-Modulated Continuous-Variable Quantum Key Distribution Protocols. *PRX QUANTUM*
40. Perche, Rick; Polo-Gomez, Jose; Torres, Bruno de S. L.; Martin-Martinez, Eduardo.(2024) Fully relativistic entanglement harvesting. *PHYSICAL REVIEW D*
41. Islam, Rabiul; Li, Peng; Beg, Marijan; Sachdev, Manoj; Miao, Guo-Xing.(2023) Helimagnet-based nonvolatile multi-bit memory units. *APPLIED PHYSICS LETTERS*
42. Jain, Aditya; Iyer, Pavithran; Bartlett, Stephen D.; Emerson, Joseph.(2023) Improved quantum error correction with randomized compiling. *PHYSICAL REVIEW RESEARCH*
43. Ahmed, Shahnewaz; Lima, Caroline; Martin-Martinez, Eduardo.(2024) Semiclassical gravity beyond coherent states. *JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS*
44. Lima, Caroline; Patterson, Everett; Tjoa, Erickson; Mann, Robert B..(2023) Unruh phenomena and thermalization for qudit detectors. *PHYSICAL REVIEW D*
45. Gheorghiu, Vlad; Huang, Jiaxin; Li, Sarah Meng; Mosca, Michele; Mukhopadhyay, Priyanka.(2023) Reducing the CNOT Count for Clifford plus T Circuits on NISQ Architectures. *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTER-AIDED DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS AND SYSTEMS*
46. Liddy, Madelaine S. Z.; Borneman, Troy; Sprenger, Peter; Cory, David.(2023) Optimal control theory techniques for nitrogen vacancy ensembles in single crystal diamond. *QUANTUM INFORMATION PROCESSING*
47. Kapahi, Connor; Sarenac, Dusan; Bleuel, Markus; Cory, David G.; Heacock, Benjamin; Henderson, Melissa E.; Huber, Michael G.; Taminiau, Ivar; Pushin, Dmitry.(2023) High-Transmission Neutron Optical Devices Utilizing Micro-Machined Structures. *QUANTUM BEAM SCIENCE*
48. Sarenac, Dusan; Henderson, Melissa E.; Ekin, Huseyin; Clark, Charles W.; Cory, David G.; DeBeer-Schmitt, Lisa; Huber, Michael G.; Kapahi, Connor; Pushin, Dmitry A..(2022) Experimental realization of neutron helical waves. *SCIENCE ADVANCES*
49. Sajeedt, Shihan; Balaji, Bhashyam; Kirillova, Alex; Jennewein, Thomas.(2023) Quantum sensing: target detection with coherence. *2023 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSUMER ELECTRONICS, ICCE*
50. Perche, Rick; Polo-Gomez, Jose; Torres, Bruno de S. L.; Martin-Martinez, Eduardo.(2024) Particle detectors from localized quantum field theories. *PHYSICAL REVIEW D*



51. Pushin, Dmitry A.; Cory, David G.; Kapahi, Connor; Kulmaganbetov, Mukhit; Mungalsingh, Melanie; Silva, Andrew E.; Singh, Taranjit; Thompson, Benjamin; Sarenac, Dusan.(2023) Structured light enhanced entoptic stimuli for vision science applications. FRONTIERS IN NEUROSCIENCE
52. Chiribella, Giulio; Davidson, Kenneth R.; Paulsen, Vern I.; Rahaman, Mizanur.(2023) Counterexamples to the extendibility of positive unital norm-one maps. LINEAR ALGEBRA AND ITS APPLICATIONS
53. Kuroiwa, Kohdai; Leung, Debbie.(2023) Rate reduction of blind quantum data compression with local approximations based on the unstable structure of quantum states. PHYSICAL REVIEW A
54. Gosset, David; Grier, Daniel; Kerzner, Alex; Schaeffer, Luke.(2024) Fast simulation of planar Clifford circuits. QUANTUM
55. Haas, Holger; Tabatabaei, Sahand; Rose, William; Sahafi, Pardis; Piscitelli, Michele; Jordan, Andrew; Priyadarsi, Pritam; Singh, Namanish; Yager, Ben; Poole, Philip J.; Dalacu, Dan; Budakian, Raffi.(2022) Nuclear magnetic resonance diffraction with subangstrom precision br. PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA
56. Ruskai, Mary Beth; Yard, Jon.(2023) Local additivity revisited. JOURNAL OF MATHEMATICAL PHYSICS
57. Tupkary, Devashish; Dhar, Abhishek; Kulkarni, Manas; Purkayastha, Archak.(2023) Searching for Lindbladans obeying local conservation laws and showing thermalization. PHYSICAL REVIEW A
58. Bernardini, Francesco; Chakraborty, Abhijit; Ordonez, Carlos R..(2024) Quantum computing with trapped ions: a beginner's guide. EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS
59. Carrier, Simon; Labrecque-Dias, Michel; Tannous, Ramy; Gendron, Pascal; Nolet, Frederic; Roy, Nicolas; Rossignol, Tommy; Vachon, Frederic; Parent, Samuel; Jennewein, Thomas; Charlebois, Serge; Pratte, Jean-Francois.(2023) Towards a Multi-Pixel Photon-to-Digital Converter for Time-Bin Quantum Key Distribution. SENSORS
60. Schmid, David; Fraser, Thomas C.; Kunjwal, Ravi; Sainz, Ana Belen; Wolfe, Elie; Spekkens, Robert W..(2023) Understanding the interplay of entanglement and nonlocality: motivating and developing a new branch of entanglement theory. QUANTUM
61. Subramanian, Mahadevan; Lupascu, Adrian.(2023) Efficient two-qutrit gates in superconducting circuits using parametric coupling. PHYSICAL REVIEW A
62. Fraser, Doreen; Papageorgiou, Maria.(2023) Note on episodes in the history of modeling measurements in local spacetime regions using QFT. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL H
63. Arqand, Amir; Memarzadeh, Laleh; Mancini, Stefano.(2023) Energy-Constrained LOCC-Assisted Quantum Capacity of the Bosonic Dephasing Channel. ENTROPY
64. Yamaguchi, Koji; Kempf, Achim.(2023) Entanglement is better teleported than transmitted. PHYSICAL REVIEW D
65. Torres, Bruno de S. L.; Wurtz, Kelly; Polo-Gomez, Jose; Martin-Martinez, Eduardo.(2023) Entanglement structure of quantum fields through local probes. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
66. Henderson, M. E.; Bleuel, M.; Beare, J.; Cory, D. G.; Heacock, B.; Huber, M. G.; Luke, G. M.; Pula, M.; Sarenac, D.; Sharma, S.; Smith, E. M.; Zhernenkov, K.; Pushin, D. A..(2022) Skyrmion alignment and pinning effects in the disordered multiphase skyrmion material Co<sub>8</sub>Zn<sub>8</sub>Mn<sub>4</sub>. PHYSICAL REVIEW B
67. Martin-Martinez, Eduardo; Perche, T. Rick.(2023) What gravity mediated entanglement can really tell us about quantum gravity. PHYSICAL REVIEW D
68. Cockett, Robin; Kalra, Amolak Ratan; Srinivasan, Priyaa Varshinee.(2023) Normalizing Resistor Networks. ELECTRONIC PROCEEDINGS IN THEORETICAL COMPUTER SCIENCE
69. Perche, Rick; Martin-Martinez, Eduardo.(2023) Role of quantum degrees of freedom of relativistic fields in quantum information protocols. PHYSICAL REVIEW A
70. Bozanic, Lana; Naeem, Manar; Gallock-Yoshimura, Kensuke; Mann, Robert B..(2023) Correlation harvesting between particle detectors in uniform motion. PHYSICAL REVIEW D
71. Tian, Lin; Sfigakis, Francois; Shetty, Arjun; Kim, Ho-Sung; Sherlekar, Nachiket; Hosseini, Sara; Tam, Man Chun; van Kasteren, Brad; Buonacorsi, Brandon; Merino, Zach; Harrigan, Stephen R.; Wasilewski, Zbigniew; Baugh, Jonathan; Reimer, Michael E..(2023) Stable electroluminescence in ambipolar dopant-free lateral p-n junctions. APPLIED PHYSICS LETTERS
72. Pushin, D. A.; Kapahi, C.; Silva, A. E.; Cory, D. G.; Kulmaganbetov, M.; Mungalsingh, M.; Singh, T.; Thompson, B.; Sarenac, D..(2024) Psychophysical discrimination of radially varying polarization-based entoptic phenomena. PHYSICAL REVIEW APPLIED
73. Zhang, Jinglei; Ferguson, Ryan; Kuehn, Stefan; Haase, Jan F.; Wilson, C. M.; Jansen, Karl; Muschik, Christine A..(2023) Simulating gauge theories with variational quantum eigensolvers in superconducting microwave cavities. QUANTUM
74. Davis, Jack; Hennigar, Robie A.; Mann, Robert B.; Ghose, Shohini.(2023) Stellar representation of extremal Wigner-negative spin states. JOURNAL OF PHYSICS A-MATHEMATICAL AND THEORETICAL
75. Henderson, M. E.; Heacock, B.; Bleuel, M.; Cory, D. G.; Heikes, C.; Huber, M. G.; Krzywon, J.; Nahman-Levesque, O.; Luke, G. M.; Pula, M.; Sarenac, D.; Zhernenkov, K.; Pushin, D. A..(2023) Three-dimensional neutron far-field tomography of a bulk skyrmion lattice. NATURE PHYSICS

76. Park, Juliana J.; Lu, Yu-Kun; Jamison, Alan O.; Ketterle, Wolfgang.(2023) Magnetic trapping of ultracold molecules at high density. NATURE PHYSICS
77. Yang, Yongqiang; Han, Guojun; Xie, Minghui; Silva, Gabriel Vinicius De Oliveira; Miao, Guo-Xing; Huang, Yunhui; Fu, Jing.(2024) Magnetic Field Enhanced Oxygen Reduction Reaction via Oxygen Diffusion Speedup. SMALL METHODS
78. Camblong, H. E.; Chakraborty, A.; Duque, P. Lopez; Ordonez, C. R..(2023) Spectral properties of the symmetry generators of conformal quantum mechanics: A path-integral approach. JOURNAL OF MATHEMATICAL PHYSICS
79. Bergeron, E. Annelise; Sfigakis, F.; Shi, Y.; Nichols, George; Klipstein, P. C.; Elbaroudy, A.; Walker, Sean M.; Wasilewski, Z. R.; Baugh, J..(2023) Field effect two-dimensional electron gases in modulation-doped InSb surface quantum wells. APPLIED PHYSICS LETTERS
80. Helton, J. William; Mousavi, Hamoon; Nezhadi, Seyed Sajjad; Paulsen, Vern I.; Russell, Travis B..(2024) Synchronous Values of Games. ANNALES HENRI POINCARÉ
81. Wen, Robin Yunfei; Kempf, Achim.(2023) Separable ball around any full-rank multipartite product state. JOURNAL OF PHYSICS A-MATHEMATICAL AND THEORETICAL
82. Lewis, Dominic G.; Kempf, Achim; Menicucci, Nicolas C..(2023) Quantum lattice models that preserve continuous translation symmetry. PHYSICAL REVIEW D
83. Farkas, Mate; Kaniewski, Jędrzej; Nayak, Ashwin.(2023) Mutually Unbiased Measurements, Hadamard Matrices, and Superdense Coding. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY
84. Bunney, Cameron R. D.; Parry, Leo; Perche, T. Rick; Louko, Jorma.(2024) Ambient temperature versus ambient acceleration in the circular motion Unruh effect. PHYSICAL REVIEW D
85. Mancinska, L.; Todorov, I. G.; Paulsen, V. I.; Winter, A..(2023) Products of synchronous games. STUDIA MATHEMATICA
86. Ding, Congying; Wang, Le; Islam, Rabiul; Zhang, Shouheng; Wang, Xia; Li, Hongli; He, Wa; Zhu, Xingqi; Yao, Zhao; Jin, Zhejun; Zhao, Guoxia; Peng, Yong; Miao, Guo-Xing; Li, Shandong.(2023) Extremely High Ferromagnetic Resonance Frequency Induced by Triclinic Lattice Distortion in Epitaxial FeCo/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (001) Films. PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE
87. Kapahi, Connor; Silva, Andrew; Cory, David; Kulmaganbetov, Mukhit; Mungalsingh, Melanie; Pushin, Dmitry; Singh, Taranjit; Thompson, Benjamin; Sarenac, Dusan.(2023) Measuring and modeling entoptic patterns induced by structured states of light. INVESTIGATIVE OPHTHALMOLOGY & VISUAL SCIENCE
88. Zhao, Raymond K.; McCarthy, Sarah; Steinfeld, Ron; Sakzad, Amin; O'Neill, Maire.(2024) Quantum-Safe HIBE: Does It Cost a Latte?. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION FORENSICS AND SECURITY
89. Dauphinais, Guillaume; Kribs, David W.; Vasmer, Michael.(2024) Stabilizer Formalism for Operator Algebra Quantum Error Correction. QUANTUM
90. Majidy, Shayan; Agrawal, Utkarsh; Gopalakrishnan, Sarang; Potter, Andrew C.; Vasseur, Romain; Halpern, Nicole Yunger.(2023) Critical phase and spin sharpening in SU(2)-symmetric monitored quantum circuits. PHYSICAL REVIEW B
91. Atas, Yasar Y.; Haase, Jan F.; Zhang, Jinglei; Wei, Victor; Pfaendler, Sieglind M. -L.; Lewis, Randy; Muschik, Christine A..(2023) Simulating one-dimensional quantum chromodynamics on a quantum computer: Real-time evolutions of tetra- and pentaquarks. PHYSICAL REVIEW RESEARCH
92. Dai, X.; Trappen, R.; Yang, R.; Disseler, S. M.; Basham, J., I.; Gibson, J.; Melville, A. J.; Niedzielski, B. M.; Das, R.; Kim, D. K.; Yoder, J. L.; Weber, S. J.; Hirjibehedin, C. F.; Lidar, D. A.; Lupascu, A..(2024) Optimizing for periodicity: a model-independent approach to flux crosstalk calibration for superconducting circuits. QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY
93. Chiavazzo, Salvatore; Sorensen, Anders S.; Kyriienko, Oleksandr; Dellantonio, Luca.(2023) Quantum manipulation of a two-level mechanical system. QUANTUM
94. Anshu, Anurag; Bab Hadiashar, Shima; Jain, Rahul; Nayak, Ashwin; Touchette, Dave.(2023) One-Shot Quantum State Redistribution and Quantum Markov Chains. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY
95. Stasiuk, Mikka; Hufnagel, Felix; Gao, Xiaoqin; Goldberg, Aaron Z.; Karimi, Ebrahim; Heshami, Khabat; Bouchard, Frederic.(2023) High-dimensional Encoding in the Round-Robin Differential-Phase-Shift Protocol. QUANTUM
96. Majidy, Shayan; Braasch Jr, William F.; Lasek, Aleksander; Upadhyaya, Twesh; Kalev, Amir; Halpern, Nicole Yunger.(2023) Noncommuting conserved charges in quantum thermodynamics and beyond. NATURE REVIEWS PHYSICS
97. Bernard, Pierre-Antoine; Mann, Zachary; Parez, Gilles; Vinet, Luc.(2024) Absence of logarithmic enhancement in the entanglement scaling of free fermions on folded cubes. JOURNAL OF PHYSICS A-MATHEMATICAL AND THEORETICAL
98. Bicak, Jiri; Kubiznak, David; Perche, T. Rick.(2023) Migrating Carrollian particles on magnetized black hole horizons. PHYSICAL REVIEW D

99. Ishtiak, Muhammad Osama; Colebatch, Orfeo; Le Bris, Karine; Godin, Paul J.; Strong, Kimberly.(2023) Measurements of perfluoro-n-hexane and perfluoro-2-methylpentane infrared absorption cross-sections from 298 to 350 K. JOURNAL OF MOLECULAR SPECTROSCOPY
100. Catrix, Elias; Boivin, Frederic; Langlois, Kassandra; Vallieres, Simon; Boynukara, Canan Yagmur; Fourmaux, Sylvain; Antici, Patrizio.(2023) Stable high repetition-rate laser-driven proton beam production for multidisciplinary applications on the advanced laser light source ion beamline. REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS
101. Maseo-Garcia, Hector; Polo-Gomez, Jose; Martin-Martinez, Eduardo.(2023) How measuring a quantum field affects entanglement harvesting. PHYSICAL REVIEW D
102. Bravyi, Sergey; Carleo, Giuseppe; Gosset, David; Liu, Yincheng.(2023) A rapidly mixing Markov chain from any gapped quantum many-body system. QUANTUM
103. Pennacchietti, Matteo; Cunard, Brady; Nahar, Shlok; Zeeshan, Mohd; Gangopadhyay, Sayan; Poole, Philip J.; Dalacu, Dan; Fognini, Andreas; Joens, Klaus D.; Zwiller, Val; Jennewein, Thomas; Luetkenhaus, Norbert; Reimer, Michael E..(2024) Oscillating photonic Bell state from a semiconductor quantum dot for quantum key distribution. COMMUNICATIONS PHYSICS
104. Miguel-Ramiro, Jorge; Shi, Zheng; Dellantonio, Luca; Chan, Albie; Muschik, Christine A.; Dur, Wolfgang.(2023) Superposed Quantum Error Mitigation. PHYSICAL REVIEW LETTERS
105. Grimmer, Daniel; Melgarejo-Lernas, Irene; Polo-Gomez, Jose; Martin-Martinez, Eduardo.(2023) Decoding quantum field theory with machine learning. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
106. Leditzky, Felix; Leung, Debbie; Siddhu, Vikesh; Smith, Graeme; Smolin, John A..(2023) Generic Nonadditivity of Quantum Capacity in Simple Channels. PHYSICAL REVIEW LETTERS
107. Miguel-Ramiro, Jorge; Shi, Zheng; Dellantonio, Luca; Chan, Albie; Muschik, Christine A.; Duer, Wolfgang.(2023) Enhancing quantum computation via superposition of quantum gates. PHYSICAL REVIEW A
108. Ding, Jintai; Gheorghiu, Vlad; Gilyen, Andras; Hallgren, Sean; Li, Jianqiang.(2023) Limitations of the Macaulay matrix approach for using the HHL algorithm to solve multivariate polynomial systems. QUANTUM
109. Ozyigit, Dogu; Ullah, Farman; Gulsaran, Ahmet; Azer, Bersu Bastug; Shahin, Ahmed; Musselman, Kevin; Bajcsy, Michal; Yavuz, Mustafa.(2023) Manufacturing of quantum-tunneling MIM nanodiodes via rapid atmospheric CVD in terahertz band. SCIENTIFIC REPORTS
110. Jandura, Sven; Tan, Ernest Y. -Z..(2024) De Finetti Theorems for Quantum Conditional Probability Distributions with Symmetry. ANNALES HENRI POINCARÉ
111. Lewis, Dylan; Banchi, Leonardo; Teoh, Yi Hong; Islam, Rajibul; Bose, Sougato.(2023) Ion trap long-range XY model for quantum state transfer and optimal spatial search. QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY
112. Robitaille, Marcel; Yang, HeeBong; Wang, Lu; Deng, Bowen; Kim, Na Young.(2023) Deep neural network analysis models for complex random telegraph signals. SCIENTIFIC REPORTS
113. Primaatmaja, Ignatius W.; Goh, Koon Tong; Tan, Ernest Y. -Z.; Khoo, John T. -F.; Ghorai, Shouvik; Lim, Charles.(2023) Security of device-independent quantum key distribution protocols: a review. QUANTUM
114. Yang, HeeBong; Kim, Na Young.(2023) Material-Inherent Noise Sources in Quantum Information Architecture. MATERIALS
115. Reitz, Marcus; Soda, Barbara; Kempf, Achim.(2023) Model for Emergence of Spacetime from Fluctuations. PHYSICAL REVIEW LETTERS
116. Shalabi, Ahmed; Henderson, Laura J.; Mann, Robert B..(2023) Locally detecting UV cutoffs on a sphere with particle detectors. PHYSICAL REVIEW D
117. Merino, Zach D.; Farmer, Jenny; Jacobs, Donald J..(2023) Probability Density Estimation through Nonparametric Adaptive Partitioning and Stitching. ALGORITHMS
118. Selby, John H.; Schmid, David; Wolfe, Elie; Sainz, Ana Belen; Kunjwal, Ravi; Spekkens, Robert W..(2023) Accessible fragments of generalized probabilistic theories, cone equivalence, and applications to witnessing nonclassicality. PHYSICAL REVIEW A
119. Ding, Jintai; Gheorghiu, Vlad; Gilyen, Andras; Hallgren, Sean; Li, Jianqiang.(2023) Limitations of the Macaulay matrix approach for using the HHL algorithm to solve multivariate polynomial systems. QUANTUM
120. Quintavalle, Armanda O.; Webster, Paul; Vasmer, Michael.(2023) Partitioning qubits in hypergraph product codes to implement logical gates. QUANTUM
121. Bochniak, Arkadiusz; Ortiz, Gerardo.(2023) Fusion mechanism for quasiparticles and topological quantum order in the lowest Landau level. PHYSICAL REVIEW B
122. Huang, Jiaxin; Li, Sarah Meng; Yeh, Lia; Kissinger, Aleks; Mosca, Michele; Vasmer, Michael.(2023) Graphical CSS Code Transformation Using ZX Calculus. ELECTRONIC PROCEEDINGS IN THEORETICAL COMPUTER SCIENCE
123. Leditzky, Felix; Leung, Debbie; Siddhu, Vikesh; Smith, Graeme; Smolin, John A..(2023) The Platypus of the Quantum Channel Zoo. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY


124. Avalos, Diana Mendez; Gallock-Yoshimura, Kensuke; Henderson, Laura J.; Mann, Robert B..(2023) Instant extraction of nonperturbative tripartite entanglement. PHYSICAL REVIEW RESEARCH
125. Chiribella, Giulio; Davidson, Kenneth R.; Paulsen, Vern I.; Rahaman, Mizanur.(2023) Positive Maps and Entanglement in Real Hilbert Spaces. ANNALES HENRI POINCARÉ
126. Selby, John H.; Schmid, David; Wolfe, Elie; Sainz, Ana Belen; Kunjwal, Ravi; Spekkens, Robert W..(2023) Contextuality without Incompatibility. PHYSICAL REVIEW LETTERS
127. Crescimanna, Valerio; Taylor, Jacob; Goldberg, Aaron Z.; Heshami, Khabat.(2023) Quantum Control of Rydberg Atoms for Mesoscopic Quantum State and Circuit Preparation. PHYSICAL REVIEW APPLIED
128. Karman, Tijs; Gronowski, Marcin; Tomza, Michal; Park, Juliana J.; Son, Hyungmok; Lu, Yu-Kun; Jamison, Alan O.; Ketterle, Wolfgang.(2023) Ab initio calculation of the spectrum of Feshbach resonances in NaLi plus Na collisions. PHYSICAL REVIEW A
129. Liu, Hengjun; Gu, Fangchao; Sang, Xiancheng; Han, Yuanyuan; Zou, Feihu; Li, Zhaohui; Qin, Yufeng; Cai, Li; Pan, Yuanyuan; Cao, Qiang; Miao, Guo-xing; Li, Qiang.(2023) Surface Ferromagnetism of FeO Nanoparticles Revealed by Operando Magnetoelectrochemical Measurements. PHYSICAL REVIEW APPLIED
130. Bilkis, M.; Cerezo, M.; Verdon, Guillaume; Coles, Patrick J.; Cincio, Lukasz.(2023) A semi-agnostic ansatz with variable structure for variational quantum algorithms. QUANTUM MACHINE INTELLIGENCE
131. Ungar, Alexander; Cappellaro, Paola; Cooper, Alexandre; Sun, Won Kyu Calvin.(2024) Control of an Environmental Spin Defect beyond the Coherence Limit of a Central Spin. PRX QUANTUM
132. Chen, Zhixin; Deng, Jie-Ren; Hou, Songjun; Bian, Xinya; Swett, Jacob L.; Wu, Qingqing; Baugh, Jonathan; Bogani, Lapo; Briggs, G. Andrew D.; Mol, Jan A.; Lambert, Colin J.; Anderson, Harry L.; Thomas, James O..(2023) Phase-Coherent Charge Transport through a Porphyrin Nanoribbon. JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY
133. Mattiat, Hinrich; Schneider, Lukas; Reiser, Patrick; Poggio, Martino; Sahafi, Pardis; Jordan, Andrew; Budakian, Raffi; Averyanov, Dmitry V.; Sokolov, Ivan S.; Taldenkov, Alexander N.; Parfenov, Oleg E.; Kondratev, Oleg A.; Tokmachev, Andrey M.; Storchak, Vyacheslav G..(2024) Mapping the phase-separated state in a 2D magnet. NANOSCALE
134. Yang, HeeBong; Neal, Luke; Flores, Elijah Earl; Adronov, Alex; Kim, Na Young.(2023) Role and impact of surfactants in carbon nanotube dispersions and sorting. JOURNAL OF SURFACTANTS AND DETERGENTS
135. Gray, Finnian; Kubiznak, David; Perche, T. Rick; Redondo-Yuste, Jaime.(2023) Carrollian motion in magnetized black hole horizons. PHYSICAL REVIEW D
136. Vallieres, Simon; Powell, Jeffrey; Connell, Tanner; Evans, Michael; Lytova, Marianna; Fillion-Gourdeau, Francois; Fourmaux, Sylvain; Payeur, Stephane; Lassonde, Philippe; MacLean, Steve; Legare, Francois.(2024) High Dose-Rate MeV Electron Beam from a Tightly-Focused Femtosecond IR Laser in Ambient Air. LASER & PHOTONICS REVIEWS
137. Wagemann, Enrique; Kim, Na Young; Mitra, Sushanta K..(2024) Cs+ conductance in graphene membranes with Ångström-scale pores: the role of pore entrance geometry. PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS
138. Rodriguez-Briones, Nayeli A.; Katiyar, Hemant; Martin-Martinez, Eduardo; Laflamme, Raymond.(2023) Experimental Activation of Strong Local Passive States with Quantum Information. PHYSICAL REVIEW LETTERS
139. Park, Juliana J.; Son, Hyungmok; Lu, Yu-Kun; Karman, Tijs; Gronowski, Marcin; Tomza, Michal; Jamison, Alan O.; Ketterle, Wolfgang.(2023) Spectrum of Feshbach Resonances in NaLi plus Na Collisions. PHYSICAL REVIEW X
140. Chen, Zhixin; Woltering, Steffen L.; Limburg, Bart; Tsang, Ming-Yee; Baugh, Jonathan; Briggs, G. Andrew D.; Mol, Jan A.; Anderson, Harry L.; Thomas, James. O..(2024) Connections to the Electrodes Control the Transport Mechanism in Single-Molecule Transistors. ANGEWANDTE CHEMIE-INTERNATIONAL EDITION
141. Huang, Eric; Pesah, Arthur; Chubb, Christopher T.; Vasmer, Michael; Dua, Arpit.(2023) Tailoring Three-Dimensional Topological Codes for Biased Noise. PRX QUANTUM
142. Gely, Mario F.; Mora, Adrian Sanz; Yanai, Shun; van der Spek, Rik; Bothner, Daniel; Steele, Gary A..(2023) Apparent nonlinear damping triggered by quantum fluctuations. NATURE COMMUNICATIONS
143. Yang, Bowen; Goh, Yin Min; Sung, Suk Hyun; Ye, Gaihua; Biswas, Sananda; Kaib, David A. S.; Dhakal, Ramesh; Yan, Shaohua; Li, Chenghe; Jiang, Shengwei; Chen, Fangchu; Lei, Hechang; He, Rui; Valenti, Roser; Winter, Stephen M.; Hovden, Robert; Tsen, Adam W..(2023) Magnetic anisotropy reversal driven by structural symmetry-breaking in monolayer  $\alpha$ -RuCl<sub>3</sub>. NATURE MATERIALS
144. Sasmal, Souradeep; Rai, Ashutosh; Gangopadhyay, Sayan; Home, Dipankar; Sinha, Urbasi.(2024) Revealing incommensurability between device-independent randomness, nonlocality, and entanglement using Hardy and Hardy-type relations. PHYSICA SCRIPTA
145. Ding, Congying; Wang, Le; Islam, Rabiul; Zhang, Shouheng; Wang, Xia; Li, Hongli; He, Wa; Zhu, Xingqi; Yao, Zhao; Jin, Zhejun; Zhao, Guoxia; Peng, Yong; Miao, Guo-Xing; Li, Shandong.(2023) Extremely High



- Ferromagnetic Resonance Frequency Induced by Triclinic Lattice Distortion in Epitaxial FeCo/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (001) Films. *PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE*
146. Curras-Lorenzo, Guillermo; Nahar, Shlok; Lutkenhaus, Norbert; Tamaki, Kiyoshi; Curty, Marcos.(2024) Security of quantum key distribution with imperfect phase randomisation. *QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY*
  147. Grayli, Sasan V.; Kamal, Saeid; Leach, Gary W. W..(2023) High performance, single crystal gold bowtie nanoantennas fabricated via epitaxial electroless deposition. *SCIENTIFIC REPORTS*
  148. Chen, Qiang; Lodi, Alessandro; Zhang, Heng; Gee, Alex; Wang, Hai I.; Kong, Fanmiao; Clarke, Michael; Edmondson, Matthew; Hart, Jack; O'Shea, James N.; Stawski, Wojciech; Baugh, Jonathan; Narita, Akimitsu; Saywell, Alex; Bonn, Mischa; Muellen, Klaus; Bogani, Lapo; Anderson, Harry L..(2024) Porphyrin-fused graphene nanoribbons. *NATURE CHEMISTRY*
  149. Rajabi, F.; Houde, M.; MacLeod, G. C.; Goedhart, S.; Tanabe, Y.; van den Heever, S. P.; Wyenberg, C. M.; Yonekura, Y..(2023) Modelling of the multitransition periodic flaring in G9.62+0.20E. *MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY*
  150. Wang, Hui; Zhao, Yan-Jun; Sun, Hui-Chen; Xu, Xun-Wei; Li, Yong; Zheng, Yarui; Liu, Qiang; Li, Rengang.(2024) Controlling the qubit-qubit coupling in the superconducting circuit with double-resonator couplers. *PHYSICAL REVIEW A*
  151. Quek, Yihui; Kaur, Eneet; Wilde, Mark M..(2024) Multivariate trace estimation in constant quantum depth. *QUANTUM*
  152. Caribe, Joao G. A.; Jonsson, Robert H.; Casals, Marc; Kempf, Achim; Martin-Martinez, Eduardo.(2023) Lensing of vacuum entanglement near Schwarzschild black holes. *PHYSICAL REVIEW D*
  153. PROSPECT collaborat, M.; Andriamirado, M.; Balantekin, A. B.; Bass, C. D.; Bergeron, D. E.; Bernard, E. P.; Bowden, N. S.; Bryan, C. D.; Carr, R.; Classen, T.; Conant, A. J.; Delgado, A.; Diwan, M. V.; Dolinski, M. J.; Erickson, A.; Foust, B. T.; Gaison, J. K.; Galindo-Uribarri, A.; Gilbert, C. E.; Gokhale, S.; Grant, C.; Hans, S.; Hansell, A. B.; Heeger, K. M.; Heffron, B.; Jaffe, D. E.; Jayakumar, S.; Ji, X.; Jones, D. C.; Koblanski, J.; Kunkle, P.; Lane, C. E.; Langford, T. J.; Larosa, J.; Littlejohn, B. R.; Lu, X.; Marici, J.; Mendenhall, M. P.; Meyer, A. M.; Milincic, R.; Mueller, P. E.; Mumm, H. P.; Napolitano, J.; Neilson, R.; Nikkel, J. A.; Nour, S.; Palomino, J. L.; Pushin, D. A.; Qian, X.; Roca, C.; Rosero, R.; Searles, M.; Surukuchi, P. T.; Sutanto, F.; Tyra, M. A.; Venegas-Vargas, D.; Weatherly, P. B.; Wilhelmi, J.; Woolverton, A.; Yeh, M.; Zhang, C.; Zhang, X..(2023) Calibration strategy of the PROSPECT-II detector with external and intrinsic sources. *JOURNAL OF INSTRUMENTATION*
  154. Andriamirado, M.; Balantekin, A. B.; Bass, C. D.; Bergeron, D. E.; Bernard, E. P.; Bowden, N. S.; Bryan, C. D.; Carr, R.; Classen, T.; Conant, A. J.; Deichert, G.; Delgado, A.; Diwan, M. V.; Dolinski, M. J.; Erickson, A.; Foust, B. T.; Gaison, J. K.; Galindo-Uribari, A.; Gilbert, C. E.; Gokhale, S.; Grant, C.; Hans, S.; Hansell, A. B.; Heeger, K. M.; Heffron, B.; Jaffe, D. E.; Jayakumar, S.; Ji, X.; Jones, D. C.; Koblanski, J.; Kunkle, P.; Kyzylova, O.; Labelle, D.; Lane, C. E.; Langford, T. J.; Larosa, J.; Littlejohn, B. R.; Lu, X.; Marici, J.; Mendenhall, M. P.; Meyer, A. M.; Milincic, R.; Mueller, P. E.; Mumm, H. P.; Napolitano, J.; Neilson, R.; Nikkel, J. A.; Nour, S.; Gallo, J. L. Palomino; Pushin, D. A.; Qian, X.; Roca, C.; Rosero, R.; Searles, M.; Surukuchi, P. T.; Sutanto, F.; Tyra, M. A.; Venegas-Vargas, D.; Weatherly, P. B.; Wilhelmi, J.; Woolverton, A.; Yeh, M.; Zhang, C.; PROSPECT Collaboration.(2023) Final Measurement of the 235U Antineutrino Energy Spectrum with the PROSPECT-I Detector at HFIR. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*
  155. Andriamirado, M.; Balantekin, A. B.; Bass, C. D.; Bergeron, D. E.; Bernard, E. P.; Bowden, N. S.; Bryan, C. D.; Carr, R.; Classen, T.; Conant, A. J.; Deichert, G.; Delgado, A.; Diwan, M., V; Dolinski, M. J.; Erickson, A.; Foust, B. T.; Gaison, J. K.; Galindo-Uribari, A.; Gilbert, C. E.; Gokhale, S.; Grant, C.; Hans, S.; Hansell, A. B.; Heeger, K. M.; Heffron, B.; Jaffe, D. E.; Jayakumar, S.; Ji, X.; Jones, D. C.; Koblanski, J.; Kunkle, P.; Kyzylova, O.; Labelle, D.; Lane, C. E.; Langford, T. J.; Larosa, J.; Littlejohn, B. R.; Lu, X.; Marici, J.; Mendenhall, M. P.; Meyer, A. M.; Milincic, R.; Mueller, P. E.; Mumm, H. P.; Napolitano, J.; Neilson, R.; Nikkel, J. A.; Nour, S.; Gallo, J. L. Palomino; Pushin, D. A.; Qian, X.; Roca, C.; Rosero, R.; Searles, M.; Surukuchi, P. T.; Sutanto, F.; Tyra, M. A.; Venegas-Vargas, D.; Weatherly, P. B.; Wilhelmi, J.; Woolverton, A.; Yeh, M.; Zhang, C.; PROSPECT Collaboration.(2023) Final Measurement of the 235U Antineutrino Energy Spectrum with the PROSPECT-I Detector at HFIR. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*
  156. Bliokh, Konstantin Y.; Karimi, Ebrahim; Padgett, Miles J.; Alonso, Miguel A.; Dennis, Mark R.; Dudley, Angela; Forbes, Andrew; Zahedpour, Sina; Hancock, Scott W.; Milchberg, Howard M.; Rotter, Stefan; Nori, Franco; Ozdemir, Sahin K.; Bender, Nicholas; Cao, Hui; Corkum, Paul B.; Hernandez-Garcia, Carlos; Ren, Haoran; Kivshar, Yuri; Silveirinha, Mario G.; Engheta, Nader; Rauschenbeutel, Arno; Schneeweiss, Philipp; Volz, Juergen; Leykam, Daniel; Smirnova, Daria A.; Rong, Kexiu; Wang, Bo; Hasman, Erez; Picardi, Michela F.; Zayats, Anatoly V; Rodriguez-Fortuno, Francisco J.; Yang, Chenwen; Ren, Jie; Khanikaev, Alexander B.; Alu, Andrea; Brasselet, Etienne; Shats, Michael; Verbeeck, Jo; Schattschneider, Peter; Sarenac, Dusan; Cory, David G.; Pushin, Dmitry A.; Birk, Michael; Gorlach, Alexey; Kaminer, Ido; Cardano, Filippo; Marrucci, Lorenzo; Krenn, Mario; Marquardt, Florian.(2023) Roadmap on structured waves. *JOURNAL OF OPTICS*

157. Bunney, Cameron R. D. (57219496942); Parry, Leo (58662381700); Perche, T. Rick (57215148922); Louko, Jorma (55885507200).(2024) Ambient temperature versus ambient acceleration in the circular motion Unruh effect. *Physical Review D*
158. De Ramón, José (57192164661); Papageorgiou, Maria (57211028532); Martín-Martínez, Eduardo (26537762500).(2023) Causality and signalling in noncompact detector-field interactions. *Physical Review D*
159. Ghosh, Soumik (57973706900); Watrous, John (7004448523).(2023) Complexity Limitations on One-turn Quantum Refereed Games. *Theory of Computing Systems*
160. Chiribella, Giulio (6508220796); Davidson, Kenneth R. (7203032191); Paulsen, Vern I. (6701483660); Rahaman, Mizanur (57190061825).(2023) Counterexamples to the extendibility of positive unital norm-one maps. *Linear Algebra and Its Applications*
161. Brannan, Michael (36052554400); Elzinga, Floris (57219758372); Harris, Samuel J (57194533374); Yamashita, Makoto (55481142300).(2023) Crossed Product Equivalence of Quantum Automorphism Groups of Finite Dimensional  $C^*$ -Algebras. *International Mathematics Research Notices*
162. Li, Wenfang (55345656300); Du, Jinjin (57194645958); Wilson, C.M. (55249519100); Bajcsy, Michal (8106248900).(2023) Fiber-integrated microwave-to-optical quantum transducer. *Physical Review Applied*
163. Perche, T. Rick (57215148922); Polo-Gómez, José (57231811100); Torres, Bruno De S. L. (57198249354); Martín-Martínez, Eduardo (26537762500).(2024) Fully relativistic entanglement harvesting. *Physical Review D*
164. Rick Perche, T. (57215148922); Ragula, Boris (57958544600); Martín-Martínez, Eduardo (26537762500).(2023) Harvesting entanglement from the gravitational vacuum. *Physical Review D*
165. Otake, Tatsuki (58161247100); Kristjánsson, Hlér (57209248403); Soeda, Akihito (36601445300); Murao, Mio (7005366457).(2024) Higher-order quantum transformations of Hamiltonian dynamics. *Physical Review Research*
166. Nahar, Shlok (57212023854); Upadhyaya, Twesh (57211930523); Lütkenhaus, Norbert (6701618041).(2023) Imperfect phase randomization and generalized decoy-state quantum key distribution. *Physical Review Applied*
167. Kapahi, C. (57208467559); Silva, A.E. (55879493500); Cory, D.G. (58860708700); Kulmaganbetov, M. (57219131911); Mungalsingh, M.A. (58262092500); Pushin, D.A. (15073090100); Singh, T. (58260603900); Thompson, B. (35485952700); Sarenac, D. (56635949500).(2024) Measuring the visual angle of polarization-related entoptic phenomena using structured light. *Biomedical Optics Express*
168. Gunderman, Lane G. (57217025471); Jena, Andrew (57219628173); Dellantonio, Luca (57193873770).(2024) Minimal qubit representations of Hamiltonians via conserved charges. *Physical Review A*
169. Polo-Gómez, José (57231811100); Martín-Martínez, Eduardo (26537762500).(2024) Nonperturbative method for particle detectors with continuous interactions. *Physical Review D*
170. Hadiashar, Shima Bab (57219496803); Nayak, Ashwin (55420156900); Sinha, Pulkit (58067964100).(2024) Optimal Lower Bounds for Quantum Learning via Information Theory. *IEEE Transactions on Information Theory*
171. Torres, Bruno De S. L. (57198249354).(2024) Particle detector models from path integrals of localized quantum fields. *Physical Review D*
172. Papageorgiou, Maria (57211028532); De Ramón, Jose (57192164661); Anastopoulos, Charis (56220579700).(2024) Particle-field duality in QFT measurements. *Physical Review D*
173. Conlon, Alexandre (57848406000); Crann, Jason (36090959700); Kribs, David W. (6603581799); Levene, Rupert H. (25959648900).(2023) Quantum Teleportation in the Commuting Operator Framework. *Annales Henri Poincaré*
174. Bindel, Nina (57188879929); McCarthy, Sarah (57199644972).(2023) The Need for Being Explicit: Failed Attempts to Construct Implicit Certificates from Lattices. *Computer Journal*
175. Goulain, Paul (57211644829); Deimert, Chris (56840850600); Jeannin, Mathieu (57188675768); Pirotta, Stefano (56149170100); Pasek, Wojciech Julian (46161509000); Wasilewski, Zbigniew (35425899400); Colombelli, Raffaele (7003625945); Manceau, Jean-Michel (23470091000).(2023) THz Ultra-Strong Light-Matter Coupling up to 200 K with Continuously-Graded Parabolic Quantum Wells. *Advanced Optical Materials*
176. Sun, Zewen (57222420426); Teoh, Yi Hong (57216201394); Rajabi, Fereshteh (55598279800); Islam, Rajibul (56549592300).(2024) Two-dimensional ion crystals in a hybrid optical cavity trap for quantum information processing. *Physical Review A*
177. Cameron, Andrew R. (57189975049); Fenwick, Kate L. (57218917584); Cheng, Sandra W. L. (57225970528); Schwarz, Sacha (56602289600); Maclellan, Benjamin (57189385158); Bustard, Philip J. (36092627000); England, Duncan (34771409800); Sussman, Benjamin (55657466400); Resch, Kevin J. (7103309018).(2023) Ultrafast measurement of energy-time entanglement with an optical Kerr shutter. *Physical Review A*



- 
178. Ben-David, Shalev; Blais, Eric.(2023) A New Minimax Theorem for Randomized Algorithms. JOURNAL OF THE ACM

## C. Professeurs, professeurs adjoints en recherche et associés de recherche

### Professeurs

Michal Bajcsy	Matteo Mariantoni
Jonathan Baugh	Guo-Xing Miao
Raffi Budakian	Michele Mosca
Shalev Ben-David	Christine Muschik
Richard Cleve	Ashwin Nayak
David Cory	Dmitry Pushin
Joseph Emerson	K. Rajibul Islam
David Gosset	Michael Reimer
Bradley Hauer	Graeme Smith
Alan Jamison	Kevin Resch
Thomas Jennewein	Crystal Senko
Na Young Kim	William Slofstra
Raymond Laflamme	Adam Wei Tsen
Debbie Leung	Christopher Wilson
Adrian Lupascu	Jon Yard
Norbert Lütkenhaus	

### Professeur adjoint en recherche

Pooya Ronagh	Francois Sfigakis
--------------	-------------------

### Associés de recherche

Yasar Atas	George Nichols
Alexandre Cooper-Roy	Geovandro Pereira
Matthew Day	Kostyantyn Pichugin
Dmytro Dubyna	Behrooz Semnani
Matthew Graydon	Zheng Shi
Brendon Higgins	Sasan Vosoogh-Grayli
Katanya Kuntz	Kaiduan Xie

## D. Collaborations

Du 1<sup>er</sup> avril 2023 au 31 mars 2024

Professeur	Entreprise ou établissement
Michal Bajcsy	Martin Houde, Université Western, Canada
	E. Diamantis, Ph. D., et I. Prassas, Ph. D., Hôpital Mont-Sinaï, Canada
	P. Poole, Ph. D., et D. Dalacu, Ph. D., Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Fetah Benabid, Institut de recherche XLIM à Limoges, France
	Philippe Tassin, Université de technologie de Chalmers, Suède
	Pr Konstantinos Lagoudakis, Université de Strathclyde, Royaume-Uni
	Pr Arka Majumdar, Université de Washington, États-Unis
	RETEGO Labs, États-Unis
	Zentek Ltd.
Jon Baugh	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Pr Bhaskaran Muralidharan (collaboration en recherche), Département de génie électrique, Institut indien de technologie de Bombay, Inde
	Groupe du Pr Andrew Briggs, Département des matériaux, Université Oxford, Royaume-Uni
	Pre Chandni Usha, Département d'instrumentation et de physique appliquée, Indian Institute of Science (IISc) Bangalore, Inde
Shalev Ben-David	Abhishek Anand, Caltech, États-Unis
	Robin Kothari, Google AI, États-Unis
Raffi Budakian	Dan Dalacu, Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Martino Poggio, Université de Basel, Suisse
Richard Cleve	Alex May, Institut Périmètre
David Cory	Laboratoire d'idées Quantum Valley, Canada
	Quantum Science Center, États-Unis
Joseph Emerson	Keysight Technologies, Mississauga (Ontario), Canada
	Institut de physique Guelph-Waterloo, Canada
David Gosset	Institut Périmètre, Canada
	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), Canada
	IBM Research, États-Unis
	Google Quantum AI
Rajibul Islam	Roger Melko, Institut Périmètre, Waterloo, Canada
	Crystal Senko, Université de Waterloo, Canada
	Sougato Bose, Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni
	TRIUMF, Vancouver, Canada
Alan Jamison	David DeMille, Université de Chicago, États-Unis – REDRUM (Researching Electric Dipoles with Radioactive Ultracold Molecules)
	Svetlana Kotochigova, Université Temple, États-Unis – REDRUM (Researching Electric Dipoles with Radioactive Ultracold Molecules)
	Tara Mastren, Université de l'Utah, États-Unis – REDRUM (Researching Electric Dipoles with Radioactive Ultracold Molecules)
	Stephan Malbrunot et John Behr, TRIUMF, Canada – REDRUM (Researching Electric Dipoles with Radioactive Ultracold Molecules)

	Wolfgang Ketterle, Massachusetts Institute of Technology (MIT), États-Unis
	Tijs Karman, Université Radboud, Pays-Bas
	Michal Tomza, Université de Varsovie, Pologne
	Timur Tscherbul, Université de Nevada-Reno, États-Unis
Thomas Jennewein	Université d'Innsbruck, Autriche
	Université de Vienne, Autriche
	Dotfast, Autriche
	Agence spatiale canadienne, Canada
	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Canada
	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Fondation canadienne pour l'innovation (FCI), Canada
	Fonds pour la recherche en Ontario (FRO), Canada
	QEYnet Inc., Canada
	ISDE-ON, Canada
	Honeywell, Canada
	Université de Waterloo, Canada
	Université de Calgary, Canada
	Université de Toronto, Canada
	Université McGill, Canada
	Agence spatiale canadienne, Canada
	Institut national d'optique (INO), Canada
	Université McMaster, Canada
	Fraunhofer Institute, Allemagne
	Politecnico di Milano, Italie
	Université de Padova, Italie
	Université nationale de Singapour, Singapour
	Université de Bristol, Royaume-Uni
	Craft Prospect Ltd., Royaume-Uni
	Université de l'Illinois, États-Unis
	Jet Propulsion Laboratory, États-Unis
Na Young Kim	Adam Wei Tsen, Université de Waterloo, Canada
	Bhashyam Balaji, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
	Anthony Damini, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
Raymond Laflamme	Quantum Valley Investments, Canada
	Institut Périphérie, Canada
	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), Canada
	Keysight Technologies, Canada
	Institut quantique, Sherbrooke, Canada
	Quantum Algorithms Institute, Colombie-Britannique, Canada
	Université de Guelph, Canada

	1QBit, Vancouver, BC
	Xanadu Quantum Technologies, Toronto, Ontario
	Technion, Israël
	Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni
	Phasecraft, Royaume-Uni
	Imperial College, Royaume-Uni
	Université de Californie à Berkeley, États-Unis
	Université du Tennessee, États-Unis
	Département de la Sécurité intérieure, États-Unis
Debbie Leung	Université technique de Munich, Allemagne
	Centrum Wiskunde & Informatica, Pays-Bas
	Massachusetts Institute of Technology (MIT), États-Unis
	Université du Maryland, États-Unis
Adrian Lupascu	Canada Microfabrication Corporation (CMC), Canada
	Département de l'Énergie, FermiLab, Jefferson Lab, États-Unis
	Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
	D-Wave Systems (partenaire des subventions Alliance)
	Felix Motzoi, Theoretical Physics Center, Juelich
	Eduardo Martin Martinez, mathématiques appliquées, Université de Waterloo
	Sahel Ashhab, National Institute of Information and Communications, Japon
Norbert Lütkenhaus	Thomas Jennewein, Université de Waterloo, Canada
	Michele Mosca, Université de Waterloo, Canada
	Christoph Marquardt, Max Planck Institute for the Science of Light, Allemagne
	Renato Renner, ETH Zurich, Suisse
	Daniel Gauthier, Ohio, États-Unis
	Michael Reimer, Université de Waterloo (IQC)
	Daniel Oi, Université de Strathclyde, Royaume-Uni
	Harald Weinfurter, LMU Munich, Allemagne
	Bruno Huttner, ID Quantique, Suisse
Matteo Mariantoni	Multiverse Computing, Toronto, Canada
	PASQAL, France, Pays-Bas, Canada
	CMC Microsystèmes, Canada
	Zero Point Cryogenics Inc., Canada
	BEIT Canada Inc., Canada
	Angstrom Engineering, Canada
Guo-Xing Miao	Jagadeesh Moodera, MIT
	Hao Zeng, Université d'État de New York à Buffalo
	Sergey Zhdanovich, Andrea Damascelli, Canadian Light Source/Université de la Colombie-Britannique
	Jing Fu, Université Tongji

	Qiang Li, Shandong Li, Université Qingdao
	Saeid Taherion, Laboratoires nucléaires canadiens
Michele Mosca	SERENE-RISC, Canada
	Global Risk Institute, Toronto, Canada
	QEYnet, Canada
	Crypto4A, Canada
	Creative Destruction Lab, Canada
	Rhea Canada, Canada
	NIT Research Lab, Japon
	Centre for Quantum Technologies (CQT), Université nationale de Singapour, Singapour
	CERN, Suisse
	Transmutex, Suisse
	Université de Bristol, Royaume-Uni
	KETS Quantum Security, Royaume-Uni
	National Institute of Standards and Technology (NIST), États-Unis
	CERN, Suisse
Christine Muschik	Peter Zoller, Rainer Blatt et Martin Ringbauer, Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Autriche
	Wolfgang Dür, Université d'Innsbruck, Autriche
	Robert Meyers, Institut Périmètre (Qfun), Canada
	Randy Lewis, Université York, Canada
	Alessio Celi, Université autonome de Barcelone, Espagne
	Mentoring Mattias Troyer, Microsoft, États-Unis
	Oak Ridge National Laboratory, États-Unis
	Membre de la Société allemande de physique
	IBM
	Jad Halimeh, Université Louis-et-Maximilien de Munich
	Zohreh Davoudi, Université du Maryland
	Norbert Linke, Université du Maryland et Université Duke
	Ashok Ajoy, Université de Californie à Berkeley
	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR) (membre du programme de science quantique)
	PINQ <sup>2</sup> , Canada
Ashwin Nayak	Dave Touchette, Université de Sherbrooke, Canada
	Frédéric Magniez, Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et Université Paris Cité, France
	Rahul Jain, Centre for Quantum Technologies (CQT), Université nationale de Singapour, Singapour
	Henry Yuen, Université Columbia, États-Unis
Dmitry Pushin	PROSPECT, Université Yale, États-Unis
	Neutron Interferometry, National Institute of Standards and Technology (NIST), États-Unis
	Centre for Eye and Vision Research (CEVR), Hong Kong
Michael Reimer	Single Quantum Systems, Canada



	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Université de technologie de Delft, Pays-Bas
	Royal Institute of Technology (KTH), Suède
	Institut Périmètre, Canada
	Northern Quantum Lights, Canada
	CMC Microsystems, Canada
Kevin Resch	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Institut Périmètre, Canada
Crystal Senko	Sandia National Laboratories, États-Unis
	Quantum Systems for Fundamental Science, États-Unis
	Kazi Rajibul Islam, Université de Waterloo, Canada
	Chaire de recherche du Canada en informatique quantique à ions piégés, Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Canada
	TRIUMF, Vancouver, Canada
William Slofsta	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Canada
	Alfred P. Sloan Foundation, États-Unis
Graeme Smith	Département de l'Énergie des États-Unis
	National Science Foundation, États-Unis
	Armée des États-Unis
Adam Wei Tsen	Université McMaster, Canada
	Université Renmin de Chine, Chine
	Académie chinoise des sciences, Chine
	Université de Fribourg, Allemagne
	Université Goethe de Francfort, Allemagne
	Weizmann Institute of Science, Israël
	Université Cornell, États-Unis
	Université du Michigan, États-Unis
	Université Texas Tech, États-Unis
	Université du Texas à Austin, États-Unis
	Université de Wake Forest, États-Unis
	Army Research Office, États-Unis
Christopher Wilson	Pr <sup>e</sup> Ivette Fuentes, Université d'Autriche, Autriche
	Qubic, Canada
	Pr <sup>r</sup> Enrique Solano, Université du Pays basque, Espagne
	Pr <sup>r</sup> Özgür Müstecaplıoğlu, Université Koç à Istanbul, Türkiye
	Jose Aumentado, Ph. D., NIST-Colorado, États-Unis
	SNOLAB, Sudbury, Canada
	Army Research Office, États-Unis
	Per Delsing, Université de technologie de Chalmers, Suède

## E. Stagiaires postdoctoraux

Pratik Adhikary	Katie McDonnell
Rubayet Al Maruf	Alexander Meiberg
Paul Anderson	Sainath Motlakunta
Jeremy Bejanin	Tarun Patel
Paula Belzig	Pei Jiang Low
Adam Bene Watts	Roksana Rashid
Jamal Busnaina	Rodolfo Reis-Soldati
Ningping Cao	Pardis Sahafi
Anirban Ch Narayan Chowdhury	Zheng Shi
Mohammad Soltani	Fangchu Chen
Bowen Yang	Sasan Vosoogh-Grayli
Fatemeh Fani Sani	Ernest Tan
Xi Dai	Abhijit Chakraborty
Yonas Assefa Eshete	Daniel Tay
Alexander Frei	Lin Tian
Richard Germond	Yu-Ting Chen
Nafiseh Ghoroghchian	Simon Vallieres
Labanya Ghosh	Akbar Jahangiri Jozani
Brad Van Kasteren	Sam Jaques
Michael Jaroszewicz	Gaili Wang
Reza Kohandani	Yunkai Wang
Hlér Kristjánsson	Peixue Wu
Meenu Kumari	Ali Assem Abdelkader Mahmoud
Srijita Kundu	Rui Yang
Xiaoyang Liu	Sara Zafar Jafarzadeh
Meixin Cheng	Yujie Zhang
Chris Wyenberg	

## F. Étudiants de cycle supérieur

### Étudiants au doctorat

Abdolreza Pasharavesh	Junan Lin
Adam Teixido-Bonfill	Kelly Wurtz
Adina Goldberg	Kent Ueno
Aditya Jain	Kieran Mastel
Albie Chan	Kimia Mohammadi
Alec Gow	Kohdai Kuroiwa
Amir Arqand	Lars Kamin
Amit Anand	Luke Neal
Amolak Kalra	Maria Ciudad Alanon
Anastasiia Mashko	Maria Papageorgiou
Andrew Cameron	Maria Preciado Rivas
Andrew Jena	Matheus Zambianco
Annie Ray	Matteo Pennacchietti
Anthony Vogliano	Matthew Dushenes
Anya Houk	Melissa Henderson
Archishna Bhattacharyya	Nachiket Sherlekar
Arsalan Motamedi	Nicholas Zutt
Avantika Agarwal	Nikhil Kotibhaskar
Benjamin Maclellan	Nikolay Videnov
Bharat Kuchhal	Noah Gorgichuk
Bohdan Khromets	Noah Greenberg
Brad Van Kasteren	Noah Janzen
Brady Cunard	Omar Hussein
Brendan Bramman	Pablo Jaime Palacios Avila
Bruno De Souza Leao Torres	Padraig Daly
Caroline De Lima Vargas Simoes	Paul Anderson
Cheng (Auda) Zhu	Paul Rev (Sung Eun) Oh
Chi Zhang	Pei Jiang Low
Christopher (Xicheng) Xu	Pritam Priyadarsi
Chung-You (Gilbert) Shih	Rabiul Islam
Cindy (Xinci) Yang	Ramy Tannous
Collin Epstein	Reza Asadi
Connor Kapahi	Rory Soiffer
Connor Paul-Paddock	Rubaya Absar
Cristina Rodriguez	Sahand (Seyed) Tabatabaei

Daniel Centeno Diaz	Sai Sreesh Venuturumilli
Devashish Jayant Tupkary	Sainath Motlakunta
Einar Gabbassov	Salehi Iman
Ejaaz Merali	Samuel Winnick
Emma (Annelise) Bergeron	Sanchit Srivastava
Eric Culf	Sayan Gangopadhyay
Erickson Tjoa	Shayan Majidy
Esha Swaroop	Shlok Nahar
Estevao De Oliveira	Sonell Malik
Evan Peters	Songmin Xu
Everett Patterson	Sriram Gopalakrishnan
Forouzan Forouharmanesh	Stefanie Beale
Gabriel Vinicius De Oliveira Silva	Stephane Vinet
Guangyu Peng	Stephen Harrigan
Guillaume Verdon-Akzam	Sukanya Ghosal
Hawking (XingHe) Tan	Tales Rick Perche
He (Ricky) Ren	TC Fraser
HeeBong Yang	Tiasa Mondol
Henri Morin	Vahid Reza Asadi
Jack Davis	Wilson Wu
Jamal Busnaina	Xi Dai
Jennifer Zhu	Yawen Peng
Jesse Allister Kasian Elliott	Yi Hong Teoh
Jiahui Chen	Yinchen (Calvin) Liu
Jingwen Zhu	Yu (Jerry) Shi
Joan Etude Arrow	Yuming Zhao
Jose Polo Gomez	Zachary Merino

### Étudiants à la maîtrise

Abrar Kazi	Mohammad Ayyash
Adam Winick	Muhammad Shaeer Moeed
Akimasa Ihara	Namanish Singh
Alev Orfi	Nicholas Allen
Alexander Kazachek	Nithin Aaron
Alexandra Kirillova	Owen Lailey
Ali Khatai	Parth Padia
Anastasiia Bershanska	Paul Del Franco

Andres Schang	Pulkit Sinha
Andrew Lagno	Richard (Lewis) Hahn
Andrija Paurevic	Sarah Odinotski
Aosheng (Michael) Gu	Sarah (Meng) Li
Artem Zhutov	Satchel Jeanne Armena
Benjamin Jarvis-Frain	Sathursan Kokilathan
Brinda Venkataramani	Scott Johnstun
Camille Lacroix	Sepehr Rashidi
Cheng Zheng	Severyn Balaniuk
Croix Gyurek	Shilpa Mahato
Danny (Xiangzhou) Kong	Shreyas Natarajan
Debankan Sannamoth	Soroush Khoubyarian
Dhruv Gopalakrishnan	Tanmay Joshi
Emiliia Dyrenkova	Tejas Naik
Fabien Lefebvre	Tony (Anthony) Lau
Fiona Thompson	Tristan Lismer
Gaurav Ashish Tathed	Victor Marton
Grant Brassem	Vyom Patel
Guofei (Phillip) Long	Wenxue Zhang
Ilyas Sharif	William Losin
Jack DeGooyer	Xianfan Nie
Jack (John) Burniston	Xiao Yang
Joshua McPherson	Xingyu Zhou
Justin Schrier	Xinning Wang
Kosar Shirinzadeh Dastgiri	YiDan Zheng
Liuhe Wang	Yifan Li
Lucas Hak	Zachary Mann
Lucas Roy	Zachary (Zach) St Pierre
Maeve Wentland	Ze Yuan (Michael) Li
Manar Naeem	Zeyi Liu
Matthew Piatt	Zhiying Yu
Megan Byres	Zhuoyang He
Megan Dawson	

## G. Présentations et participations à des conférences

Professeur	Titre ou sujet	Établissement ou conférence
Michal Bajcsy	<i>Assorted experiments with atoms in hollow-core fibers</i> (« Expériences variées avec des atomes dans des fibres à cœur creux »)	SPIE Photonics West, San Francisco, janvier 2024
	<i>Building blocks for a hybrid quantum repeater</i> (« Fondements d'un répéteur quantique hybride »)	SPIE Photonics for Quantum, Rochester, États-Unis d'Amérique, juillet 2023
Jonathan Baugh	<i>Semiconductor quantum devices</i> (« Appareils quantiques semiconducteurs »)	Conférence à l'occasion du 60 <sup>e</sup> anniversaire de Ray Laflamme, Waterloo, juillet 2023
	<i>Next-generation photonic source based on lateral GaAs/AlGaAs heterostructure devices</i> (« Source photonique de prochaine génération fondée sur des composants à hétérostructure en GaAs/AlGaAs »)	Canadian semiconductor science and technology conference, Montréal, août 2023
	<i>InSb surface quantum wells for proximity superconductivity</i> (« Puits quantiques à surface en InSb pour la supraconductivité de proximité »)	Atelier WIN-IQC, Waterloo, octobre 2023
	<i>Network architecture for a scalable spin qubit processor</i> (« Architecture de réseau pour un processeur à qubits de spin adaptable »)	Atelier Quantum Computing: Devices, Cryogenic Electronics and Packaging (IEEE Circuits and Systems Society), Santa Clara, États-Unis d'Amérique (virtuel), octobre 2023
Shalev Ben-David		
Raffi Budakian	<i>Novel Approaches in NanoMRI for Probing Atomic-Scale Material Structure</i> (« Nouvelles approches de nano-imagerie par résonance magnétique pour explorer la structure la matière à l'échelle atomique »)	Université de Constance, Allemagne, octobre 2023
	<i>NanoMRI Measurements of Dynamic Nuclear Polarization Using Trityl Radicals</i> (« Mesures de la polarisation dynamique nucléaire par nano-imagerie par résonance magnétique au moyen de radicaux trityles »)	ETH Zurich, Suisse, octobre 2023
	<i>Nuclear Magnetic Resonance Diffraction (NMRd): A Probe of Structure and Dynamics of Spins at the Atomic Scale</i> (« Diffraction de la résonance magnétique nucléaire : examen de la structure et de la dynamique des spins à l'échelle atomique »)	Université de Californie à Berkeley, États-Unis d'Amérique, octobre 2023
	<i>Novel Approaches in NanoMRI for Probing Atomic-Scale Material Structure</i> (« Nouvelles approches de nano-imagerie par résonance	Université de Basel, Suisse, novembre 2023





	magnétique pour explorer la structure de la matière à l'échelle atomique »)	
	<i>Novel Approaches in NanoMRI for Probing Atomic-Scale Material Structure</i> (« Nouvelles approches de nano-imagerie par résonance magnétique pour explorer la structure de la matière à l'échelle atomique »)	ETH Zurich, Suisse, novembre 2023
	<i>Novel Approaches in NanoMRI for Probing Atomic-Scale Material Structure</i> (« Nouvelles approches de nano-imagerie par résonance magnétique pour explorer la structure de la matière à l'échelle atomique »)	Université de Californie à Davis, États-Unis d'Amérique, février 2024
Richard Cleve	<i>Infinite stabilizer states</i> (« Infinité des états stabilisateurs »)	Institut Périmètre, Waterloo, Canada, mars 2024
David Gosset	<i>How to simulate measurement without computing marginals</i> (« Simulation de mesures sans calcul des marginales »)	Université Harvard, États-Unis d'Amérique, avril 2023
	<i>How to simulate measurement without computing marginals</i> (« Simulation de mesures sans calcul des marginales »)	Série de séminaires sur la science de l'informatique quantique Qiskit d'IBM (virtuel), juin 2023
	<i>Classical simulation algorithms versus quantum computers</i> (« Comparaison entre les algorithmes de simulation classiques et les ordinateurs quantiques »)	Conférence Q-site, Toronto, Canada, septembre 2023
	<i>Classical simulation of peaked shallow quantum circuits</i> (« Simulation classique de circuits quantiques peu profonds »)	Séminaire sur informatique de Google Quantum AI (virtuel), novembre 2023
	<i>Stabilizer rank simulators</i> (« Simulateurs de rang de stabilisation »)	Atelier Quantum resources, Singapour, décembre 2023
	<i>Classical simulation of peaked shallow quantum circuits</i> (« Simulation classique de circuits quantiques peu profonds »)	Atelier Fundamental limitations to quantum computation, Banff International Research Station, Banff, Canada, mars 2024
Kazi Rajibul Islam	<i>Quantum information processing with trapped ions</i> (« Traitement de l'information quantique par ions piégés »)	10 <sup>th</sup> international Petra School of Physics, Amman, Jordanie, octobre 2023
Alan Jamison	<i>Coherent Chemistry with Ultracold Atoms and Molecules</i> (« Chimie à cohérence quantique des molécules et des atomes ultrafroids »)	Colloque de physique et d'astronomie, Université de Waterloo, Ontario, Canada, février 2024
	<i>Coherent Chemistry with Ultracold Atoms and Molecules</i> (« Chimie à cohérence quantique des molécules et des atomes ultrafroids »)	Colloque de physique, Université McMaster, Ontario, Canada, novembre 2023
	<i>Coherent Chemistry with Ultracold Atoms and Molecules</i> (« Chimie à	Colloque de physique et d'astronomie, Université du Nouveau-Brunswick, Nouveau-Brunswick, Canada, octobre 2023



	cohérence quantique des molécules et des atomes ultrafroids »)	
	<i>Feshbach Resonances and Ultracold Chemistry</i> (« Résonances de Feshbach et chimie ultrafroide »)	Atelier 2023 sur les molécules ultrafroides, Université de Varsovie, Pologne, septembre 2023
	<i>FrAg for Fundamental Physics</i> (« Le FrAg en physique fondamentale »)	Science Week, TRIUMF, Vancouver, Canada, août 2023
	<i>Laser Cooling to Quantum Chemistry</i> (« Chimie quantique et refroidissement par laser »)	Quantum for Educators, Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo, Ontario, Canada, décembre 2023
	<i>Laser Cooling to Quantum Chemistry</i> (« Chimie quantique et refroidissement par laser »)	Quantum School for Young Scientists, Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo, Canada, août 2023
Thomas Jennewein	<i>Long distance quantum communications – how fundamental science tests lead to satellite based quantum networks</i> (« Communications quantiques sur de longues distances : comment les tests en science fondamentale ouvrent la voie aux réseaux quantiques satellitaires »)	Colloque à Hyperspace, Rome, Italie, février 2024
	<i>The future: Quantum Encryption</i> (« L'avenir : le cryptage quantique »)	Événement public Quantum Enigma, St. Catherines (Ontario), Canada, janvier 2024
	<i>Long distance quantum communications – how fundamental science tests lead to satellite based quantum networks</i> (« Communications quantiques sur de longues distances : comment les tests en science fondamentale ouvrent la voie aux réseaux quantiques satellitaires »)	Colloque, Université Brock, St. Catherines, (Ontario), Canada, janvier 2024
	<i>Utilization of Optical Ground Station Testbed aiming for the international collaboration</i> (« Utilisation du banc d'essai de la station sol optique quantique en vue d'une collaboration internationale »)	Atelier de la Spacecraft Planetary Image Facility (SPIF), Ithaca (New York), États-Unis d'Amérique, décembre 2023
	<i>QEYSSat – the Canadian quantum satellite mission</i> (« QEYSSat : mission de satellite quantique canadien »)	Atelier Quantum Information Science 2023, Ithaca (New York), États-Unis d'Amérique, juin 2023
	<i>QEYSSat – Canadas first quantum communication satellite</i> (« QEYSSat : le premier satellite de communication quantique du Canada »)	Atelier 2.1 de l'INSQT, Jena, Allemagne, mai 2023
	<i>QEYSSat – the Canadian quantum satellite mission</i> (« QEYSSat : mission de satellite quantique canadien »)	Colloque à l'Université d'Innsbruck, Innsbruck, Autriche, juillet 2023
	<i>Canada's first quantum communication satellite</i> (« Le premier satellite de communication quantique du Canada »)	Conférence Photonics for Quantum, Rochester, États-Unis d'Amérique, juin 2023



	<i>QEYSSat – a testbed for ground and space quantum networks</i> (« QEYSSat : banc d'essai pour les réseaux quantiques spatial-sol »)	Conférence Quantum 2.0 – Panel Quantum Internet Testbeds Across the World, Denver, États-Unis d'Amérique, juin 2023
	<i>Hong-Ou-Mandel interference of unconventional temporal modes</i> (« Interférence de type Hong-Ou-Mandel de modes temporels non conventionnels »)	Quantum 2.0 – Atelier Quantum-Enhanced Telescopy, Denver, États-Unis d'Amérique, juin 2023
	<i>QEYSSat – the Canadian quantum satellite mission</i> (« QEYSSat : mission de satellite quantique canadien »)	Séminaire à l'interne, Oberpfaffenhofen, Allemagne, juillet 2023
	<i>Time-bin Encoded Photons over Multi-mode Channels: Advances on Quantum Communications and Sensing Over Free-space Channels</i> (« Photons codés en énergie-temps dans des canaux multimodes : avancées dans les communications et la détection quantiques dans des canaux en espace libre »)	Conférence Quantum 2.0, Denver, États-Unis d'Amérique, juin 2023
	<i>Networked quantum technologies and fundamental physics</i> (« Technologies quantiques en réseaux et physique fondamentale »)	Atelier 3 de l'INSQT, Berlin, Allemagne, août 2023
	<i>Time-bin Encoded Photons over Multi-mode Channels: Advances on Quantum Communications and Sensing Over Free-space Channels</i> (« Photons codés en énergie-temps dans des canaux multimodes : avancées dans les communications et la détection quantiques dans des canaux en espace libre »)	Photonics North 2023, Montréal, Canada, juin 2023
Na Young Kim	<i>Quantum Innovation Laboratory</i> (« Laboratoire d'innovation quantique »)	Sommet Canadian Semiconductor Researcher, Université du Texas à Dallas, octobre 2023
	<i>Quantum Innovation Laboratory</i> (« Laboratoire d'innovation quantique »)	Sommet Canadian Semiconductor Researcher, Université du Texas à Austin, octobre 2023
	<i>Quantum Revolution 2.0</i> (« Révolution quantique 2.0 »)	Séminaire de la Yonsei School of Integrated Technology, Université Yonsei, Songdo, Corée, septembre 2023
	<i>Quantum Research Activities at the Institute for Quantum Computing &amp; Quantum Innovation Laboratory</i> (« Activités de recherche quantique à l'Institut d'informatique quantique et au laboratoire d'innovation quantique »)	Séminaire Quantum Computing, Université Yonsei, Songdo, Corée, septembre 2023
	<i>Introduction to Quantum Approximate Algorithms</i> (« Introduction aux algorithmes d'approximation quantique »)	Séminaire spécial, Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon, Corée, août 2023



	<i>Future Perspectives of Quantum Information Processing Science and Technology</i> (« Perspectives sur l'avenir de la science et de la technologie en traitement quantique de l'information »)	Atelier de la National Information Society Agency dans le cadre du programme de formation du Korea Quantum Industry Center, Séoul Corée, août 2023
	<i>Quantum Research Activities at the Institute for Quantum Computing</i> (« Activités de recherche quantique à l'Institut d'informatique quantique »)	Conférence Canada-Corée sur les sciences et technologies 2023, Ottawa, Canada, juillet 2023
	<i>Quantum Revolution 2.0</i> (« Révolution quantique 2.0 »)	Conférence Canada-Corée sur les sciences et technologies 2023, Ottawa, Canada, juillet 2023
	<i>Deep Neural Network Models for Random Telegraph Signals</i> (« Modèle de réseau de neurones profond pour les signaux télégraphiques aléatoires »)	Atelier sur la quantique et l'intelligence artificielle, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, mai 2023
	<i>The Second Quantum Revolution</i> (La deuxième révolution quantique »)	The Korean-American Scientists and Engineers Association Distinguished Guest Series (virtuel), États-Unis d'Amérique, avril 2023
Raymond Laflamme	<i>Quantum Potential</i> (« Potentiel quantique »)	RNCan, Ottawa, Canada (virtuel), mars 2024
	<i>Quantum Potential</i> (« Potentiel quantique »)	CNRC, Ottawa, Canada (virtuel), février 2024
	<i>Panel Discussion on the National Quantum Strategy</i> (« Panel sur la Stratégie quantique nationale »)	qConnect, Université de Calgary, Canada, novembre 2023
	<i>Quantum Potential</i> (« Potentiel quantique »)	Conférencier invité, Conseil des académies canadiennes pour ISDE et CNRC, Ottawa, Canada, novembre 2023
Debbie Leung	<i>Purifying arbitrarily noisy quantum states</i> (« Purification d'états quantiques arbitrairement bruyants »)	Banff International Research Station, Alberta, Canada, mars 2024
	<i>Quantum state purification</i> (« Purification d'un état quantique »)	SwissMAP Research Station, Les Diablerets, Suisse, février-mars 2024
	<i>The platypus of the quantum channel zoo and their generic nonadditivity</i> (« L'ornithorynque du zoo des canaux quantiques et sa non-additivité générale »)	Southwest Quantum Information and Technology, 25 <sup>e</sup> atelier annuel SQuInT, Université du Nouveau-Mexique, Albuquerque, Nouveau-Mexique, octobre 2023
	<i>Rate-Distortion Theory for Mixed States</i> (« La théorie débit-distorsion pour les états mixtes »)	ICMS, Édimbourg, Royaume-Uni, juillet 2023
	<i>Rate-Distortion Theory for Mixed States</i> (« La théorie débit-distorsion pour les états mixtes »)	Réunion d'été de la SMC, Ottawa, juin 2023
Adrian Lupascu	<i>Investigation of coherence of niobium-based resonators enabled by a fast-sealing microwave cavity</i> (« Étude de la cohérence de résonateurs en niobium »)	D-Wave Quantum, Vancouver, Canada, mars 2024



	dotés de cavités micro-ondes à remplissage rapide »)	
	<i>Quantum sensing with superconducting devices</i> (« La détection quantique au moyen d'appareils supraconducteurs »)	TRIUMF, Vancouver, Canada, mars 2024
	<i>Diamagnetic levitation – a platform for quantum sensing</i> (« Lévitiation diamagnétique : une plateforme pour la détection quantique »)	Atelier SNOLAB de l'Université Queen Mary de Londres, Sudbury, Canada, janvier 2024
	<i>Quantum sensing with superconducting devices</i> (« La détection quantique au moyen d'appareils supraconducteurs »)	Séminaire Northwestern Condensed Matter Physics, Evanston, États-Unis d'Amérique, janvier 2024
	<i>Capacitively shunted flux qubits with high anharmonicity: quantum control and decoherence</i> (« Qubits de flux shunté capacitivement avec anharmonicité élevée : contrôle et décohérence quantiques »)	Technology Innovation Institute (virtuel), Émirats arabes unis, octobre 2023
Norbert Lütkenhaus	<i>Security Statements for Practical QKD</i> (« Énoncés de sécurité pour les applications pratiques de la DQC »)	Séminaire Heraeus – Physics and Security, Bad Honnef, Allemagne, mars 2024
	<i>Quantum advantage for RNG? Round Table</i> (« Table ronde : avantage quantique pour les générateurs de nombres aléatoires »)	Séminaire Heraeus – Physics and Security, Bad Honnef, Allemagne, mars 2024
	<i>Quantum Communication beyond QKD</i> (« Communication quantique au-delà de la DQC »)	Réunion de collaboration de l'ARQNE, Calgary (Alberta), Canada, février 2024
	<i>Quantum Key Distribution</i> (« Distribution quantique de clés »)	International Summer School in Quantum Technologies, Université de Birmingham, août 2023
	<i>Quantum Key Distribution</i> (« Distribution quantique de clés »)	Atelier 2023 Quantum cryptography tools, Waterloo (Ontario), juillet 2023
Guo-Xing Miao	<i>Developing iontronics for quantum materials and neuromorphic applications</i> (« Développement de l'iontronique pour les matériaux quantiques et les applications neuromorphiques »)	École d'été sur la physique fondamentale de l'Université de Zhengzhou, Zhengzhou, Chine, juillet 2023
	<i>Developing iontronics for quantum materials and neuromorphic applications</i> (« Développement de l'iontronique pour les matériaux quantiques et les applications neuromorphiques »)	IEEE ICEICT 2023, Qingdao, Chine, juillet 2023
	<i>Iontronics for information processing</i> (« L'iontronique pour le traitement de l'information »)	13 <sup>e</sup> réunion de la Shandong Physical Society, Dezhou, Chine, juillet 2023
	<i>Applications of Spiontronics</i> (« Applications de la spintronique »)	Université Tongji, Shanghai, Chine, décembre 2023

	<i>Spiontronics Development and Application</i> (« Développement et application de la spintronique »)	Université de Zhengzhou, Zhengzhou, Chine, janvier 2024
Michele Mosca	<i>On hiding quantum factoring inside simulation algorithms</i> (« Sur l'art de dissimuler une factorisation quantique dans des algorithmes de simulation »)	QIT Consortium, NTT Research (virtuel), décembre 2023
	<i>Introduction to Quantum Computing &amp; Quantum Cryptography - Key Research</i> (« Introduction à l'informatique quantique et à la cryptographie quantique – Principales questions de recherche »)	Cyberwal in Galaxia Program, école en ligne – Quantum day, Redu, Belgique, décembre 2023
	<i>Beyond Encryption: Strategies for a Post-Quantum Era</i> (« Au-delà du cryptage : stratégies pour l'ère postquantique »)	Réunion annuelle sur la cybersécurité 2023 et réunion 2023 sur l'économie quantique du Forum économique mondial, Genève, Suisse, novembre 2023
	<i>What is your quantum readiness plan?</i> (« Quel est votre plan de préparation à la quantique? »)	SecTor 2023, Toronto, Ontario, Canada, octobre 2023
	<i>Your Technology Radar: Are you Quantum Ready?</i> (« Votre radar technologique : êtes-vous prêt pour la quantique? »)	Tech Horizons Executives Webinar Series, WatSPEED, Université de Waterloo, Ontario, Canada, octobre 2023
	<i>The Rapidly Approaching Quantum Computing Tsunami - Are We Ready?</i> (« Le tsunami de l'informatique quantique arrive à toute vitesse : sommes-nous prêts? »)	National Insurance Conference of Canada (NICC), Montréal (Québec), Canada, septembre 2023
	<i>Post Quantum Crypto-Controversy and Trends</i> (« Controverse et tendances liées à la cryptomonnaie postquantiques »)	Panel de l'International Cryptographic Module Conference, PQC Q20, Ottawa (Ontario), Canada, septembre 2023
	<i>Post Quantum Crypto-Implementations</i> (« Implémentations cryptographiques postquantiques »)	Modérateur – Panel de l'International Cryptographic Module Conference, PQC Q20, Ottawa (Ontario), Canada, septembre 2023
	<i>The Quantum Threat: How to navigate new cybersecurity challenges</i> (« La menace quantique : comment relever les nouveaux défis en matière de cybersécurité »)	Toronto (Ontario), Canada, septembre 2023
	<i>Enabling Quantum-safe Network</i> (« Développer un réseau à résistance quantique »)	Nokia Wavelengths 2023, La Nouvelle-Orléans, États-Unis d'Amérique, septembre 2023
	<i>Quantum communications in academia vs. Industry</i> (« Comparaison des communications quantiques dans le secteur universitaire et dans le secteur commercial »)	QYRA X IMDA, Career in Quantum Communication Field, Singapour (virtuel), juillet 2023
	<i>Quantum Education for Shaping Regulation</i> (« La formation en quantique pour orienter la réglementation »)	Forum économique mondial, série de discussions pour aider à orienter la réglementation sur la sécurité (virtuel), juillet 2023





	<i>Prosperity and resilience in the quantum era</i> (« Prospérité et résilience à l'ère quantique »)	Réunion du Groupe de travail sur la protection cybernétique des télécommunications canadiennes (PCTC), Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) (virtuel), juin 2023
	<i>Quantum Computing for National Security Leaders</i> (« L'informatique quantique pour les dirigeants en sécurité nationale »)	Conférence du G7 Cyber Expert Group à Ottawa, ministère des Finances, Canada, juin 2023
	<i>Overview of Canadian Ecosystem</i> (« Survol de l'écosystème canadien »)	Inside Quantum Technology, Montréal (Québec), Canada, juin 2023
	<i>Preparing for the Quantum Era</i> (« Se préparer à l'ère quantique »)	Délégation du programme de l'Université d'Ottawa, Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo, Ontario, Canada, juin 2023
	<i>Quantum computer for Business and Policy leaders</i> (« L'ordinateur quantique pour les leaders du milieu des affaires et des politiques »)	Réunion du Conference Board du Canada, Toronto (Ontario), Canada, mai 2023
	<i>Network Security Post Quantum</i> (« Sécurité du réseau postquantique »)	Événement Quantum Marketplace, Belmont, Californie, États-Unis d'Amérique (virtuel), mai 2023
	<i>Canada's Quantum Story: Leading the Future of Quantum</i> (« L'histoire de la quantique au Canada : orienter l'avenir de la quantique »)	Quantum Connections 2023, Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo, Ontario, Canada, mai 2023
	<i>Cybersecurity and Privacy</i> (« Cybersécurité et vie privée »)	Math and Computing Research Discovery Days, Université de Waterloo, Ontario, Canada, avril 2023
Christine Muschik	<i>Hardware efficient quantum computing using qudits</i> (« Utilisation de l'informatique quantique de façon matériellement optimale avec les qudits »)	Quantum Days 2024, Calgary (Alberta), février 2024
	<i>Using a qudit quantum computer to simulate models from particle physics and beyond</i> (« Utilisation d'un ordinateur quantique fondé sur le qudit pour simuler des modèles de physique des particules et autres »)	Colloque de l'Université de Victoria, Victoria, Colombie-Britannique, février 2024
	<i>Hardware efficient quantum information processing with qudits</i> (« Le traitement de l'information optimisé pour le matériel grâce aux qudits »)	Atelier 2023 sur la quantique et l'intelligence artificielle, Waterloo (Ontario), novembre 2023
	<i>Simulating 2D lattice gauge theories on a qudit quantum computer</i> (« Simulation des théories du jauge sur réseau en 2D sur un ordinateur quantique fondé sur le qudit »)	Conférence European Quantum Technology 2023, Hannover, Allemagne, octobre 2023
	<i>Simulating 2D lattice gauge theories on a qudit quantum computer</i> (« Simulation des théories du jauge sur	Réunion du programme Quantum Information Science, Banff (Alberta), octobre 2023



	réseau en 2D sur un ordinateur quantique fondé sur le qudit »)	
	<i>Simulating 2D lattice gauge theories on a qudit quantum computer</i> (« Simulation des théories du jauge sur réseau en 2D sur un ordinateur quantique fondé sur le qudit »)	Série de séminaires Atomic & Laser Physics (ALP), Université Oxford, Oxford, Angleterre, octobre 2023
	<i>Simulating one-dimensional quantum chromodynamics on a quantum computer: Real-time evolutions of tetra- and pentaquarks</i> (« Simulation unidimensionnelle de la chromodynamique quantique sur ordinateur quantique : évolution en temps réel des tétraquarks pentaquarks »)	QSim, Telluride, Colorado, États-Unis d'Amérique, août 2023
	<i>Simulating one-dimensional quantum chromodynamics on a quantum computer: Real-time evolutions of tetra- and pentaquarks</i> (« Simulation unidimensionnelle de la chromodynamique quantique sur ordinateur quantique : évolution en temps réel des tétraquarks pentaquarks »)	Qiskit – IBM, États-Unis d'Amérique (virtuel), juillet 2023
	<i>Simulating one-dimensional quantum chromodynamics on a quantum computer: Real-time evolutions of tetra- and pentaquarks</i> (« Simulation unidimensionnelle de la chromodynamique quantique sur ordinateur quantique : évolution en temps réel des tétraquarks pentaquarks »)	Quantum Simulators of Fundamental Physics, Waterloo (Ontario), juin 2023
	<i>Fresh approaches for scientific computing</i> (« Nouvelles approches pour le calcul scientifique »)	Visite du ministère de la Défense de Singapour, Waterloo (Ontario), juin 2023
	<i>Status and prospect of quantum simulating quantum fields: digital approaches</i> (« État et potentiel de la simulation par la quantique des champs quantiques : approches numériques »)	Toward Quantum Advantage in High Energy Physics, Munich, Allemagne, avril 2023
Ashwin Nayak	<i>Bounds on Sample Complexity via Information Theory</i> (« Limites sur la complexité des échantillons au moyen de la théorie de l'information »)	Séance sur la théorie de l'information quantique, Réunion d'été de la SMC, Ottawa (Ontario), juin 2023
Dmitry Pushin	<i>54th Winter Colloquium on the Physics of Quantum Electronics (PQE)</i> (« 54 <sup>e</sup> colloque d'hiver sur la physique de l'électronique quantique »)	Snowbird, Utah, États-Unis d'Amérique, janvier 2024
	<i>Neutron Interferometry and structured waves of matter and light</i> (« Interférométrie des neutrons et ondes structurées de matière et de lumière »)	Sixième réunion conjointe de la Division de physique nucléaire de l'APS et la Société de physique du Japon, Hawaï, États-Unis d'Amérique, novembre 2023



	<i>Production of neutron beams with OAM and spin-orbit coupling</i> (« Production de faisceaux de neutrons avec moment cinétique orbital et couplage spin-orbite »)	Conférence Twisted Light in Quantum and Sub-Atomic Systems, Mainz Institute for Theoretical Physics (MITP), Allemagne, 2023
	<i>Neutron Interferometry and structured waves of matter and light</i> (« Interférométrie des neutrons et ondes structurées de matière et de lumière »)	Séminaire du Centre for Quantum Information and Quantum Control (CQIQC), Toronto, Canada, mai 2023
	<i>Precision measurements in neutron optics</i> (« Mesures de précision en optique neutronique »)	APS April meeting, Minneapolis, États-Unis d'Amérique, avril 2023
Michael Reimer	<i>Quantum networks and sensing</i> (« Réseaux et détection quantiques »)	Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Canada, décembre 2023
	<i>Technology overview of quantum photonics</i> (« Tour d'horizon des technologies de photonique quantique »)	Symposium Photonics in Defence and Security, Ottawa, Canada, octobre 2023
	<i>Nanophotonic devices for quantum networks and sensing</i> (« Dispositifs nanophotoniques pour les réseaux et la détection quantiques »)	Cours d'été – « Quantum technology from fundamental science to real world applications », Erice, Italie, octobre 2023
	<i>On-demand generation of bright entangled photon pairs with near-unity fidelity</i> (« Production sur demande de paires de photons brillants intriqués à fidélité quasi unitaire »)	Photonics North 2023, Montréal, Canada, mai 2023
Crystal Senko	<i>Quantum Computing Hardware</i> (« Matériel d'informatique quantique »)	APS March Meeting, Minneapolis, États-Unis d'Amérique, mars 2024
	<i>Quantum Information Processing with Barium Ions</i> (« Traitement de l'information quantique avec ions de baryum »)	Gordon Research Conference – Atomic Physics, Newport, Rhode Island, juin 2023
William Slofstra	<i>LCS games, non-hyperlinear groups, and Schaefer dichotomy theorems</i> (« Jeux fondés sur un système de contraintes linéaires, groupes non hyperlinéaires et le théorème de la dichotomie de Schaefer »)	Hot Topics: MIP*=RE and the Connes' Embedding Problem, Simon Laufer Institut des sciences mathématiques, Berkeley, États-Unis d'Amérique, octobre 2023
	<i>Positivity is undecidable in product algebras</i> (« La positivité indécidable des produits d'algèbres »)	Séance spéciale – Recent Developments in Operator Algebras and Quantum Information Theory, III, AMS Fall Eastern Sectional Meeting, Université d'État de New York à Buffalo, septembre 2023
	<i>Positivity is undecidable in product algebras</i> (« La positivité indécidable des produits d'algèbres »)	Atelier Operator Algebras and Applications: Connections with Logic, Fields Institute, Toronto, août 2023
	<i>Positivity is undecidable in product algebras</i> (« La positivité indécidable des produits d'algèbres »)	Atelier Analytical and Combinatorial Methods in Quantum Information Theory II, ICMS, Édimbourg, Écosse, juillet 2023



	<i>Self-testing and stability of group relations</i> (« Tests automatiques et stabilité des relations de groupes »)	Atelier Noncommutative Harmonic Analysis and Quantum Information, Institut Mittag-Leffler, juin 2023
	<i>Open problems in graph minors and contextuality over <math>Z_p</math></i> (« Problèmes ouverts dans les mineurs de graphes et la contextualité concernant les $Z_p$ »)	Séance DiscreteMathematics in Quantum Information Processing, CanaDAM 2023, Université du Manitoba, juin 2023
Graeme Smith	<i>Additivity and Nonadditivity of Quantum Capacity</i> (« Additivité et non-additivité de la capacité quantique »)	Quantum Information, Les Diablerets, Suisse, février 2024
	<i>Mathematical challenges in quantum information theory</i> (« Problèmes mathématiques avec la théorie de l'information quantique »)	Colloque de l'Institut Périmètre, Waterloo, Canada, janvier 2024
	<i>Additivity and Nonadditivity of Quantum Capacity</i> (« Additivité et non-additivité de la capacité quantique »)	Atelier de la Banff International Research Station : Fundamental Limitations to Quantum Computation, Banff, Canada, janvier 2024
	<i>Mathematical challenges in quantum information theory</i> (« Problèmes mathématiques avec la théorie de l'information quantique »)	Séminaire Mathematical Picture Language, Département de physique, Université Harvard, Cambridge, Massachusetts, États-Unis d'Amérique, septembre 2023
Adam Wei Tsen	<i>Tunneling Probe of 2D Moiré Magnetism</i> (« Exploration par effet tunnel du magnétisme 2D du moiré »)	Séminaire Condensed Matter, Département de physique de l'Université de Toronto, Toronto, Canada, septembre 2023
	<i>Tunneling Probe of 2D Moiré Magnetism</i> (« Exploration par effet tunnel du magnétisme 2D du moiré »)	Canadian Chemistry Conference and Exhibition 2023, Vancouver (Colombie-Britannique), juin 2023
Christopher Wilson	<i>Microwave Quantum Radar</i> (« Radar quantique à micro-ondes »)	Pursuing Quantum Sensing for Reliable Roadmaps, Rome, Italie, décembre 2023
	<i>Advanced characterization and mitigation of qubit decoherence in a deep underground environment</i> (« Caractérisation et atténuation avancées de la décohérence des qubits en milieu souterrain »)	Quantum Computing Program Reviews, San Diego, États-Unis d'Amérique, septembre 2023
	<i>Giant Artificial Atoms and Programmable Topological Waveguides</i> (Atomes géants artificiels et guides d'ondes topologiques programmables »)	Atelier sur les atomes géants, ETH Zurich, Suisse, septembre 2024
	<i>Advanced characterization and mitigation of qubit decoherence in a deep underground environment</i> (« Caractérisation et atténuation avancées de la décohérence des qubits en milieu souterrain »)	Atelier Light Dark Matter, GUINEAPIG 2023, Montréal, Canada, juillet 2023

## H. Visiteurs scientifiques

Visiteur	Affiliation
Ashutosh Marwah	Université de Montréal
Mikka Stusiak	Université McGill
Rohin Verma	Université de Californie à Los Angeles
Yeqing Zhou	Université de Toronto
Yihui Quek	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
Daniel Carney	Berkeley Lab
Raj Shaw	Apple
David Luong	Université Carleton
Sreeraman Rajan	Université Carleton
John Kaullagher	Sandia National Laboratories
Sean Dougherty	Université Northwestern (Illinois)
Zhi Li	Institut PÉRIMÈTRE
Nolon Coble	Université du Maryland (College Park)
Anna Kis	Université de Waterloo – Informatique
Aziza Suleymanzade	Université Harvard
Luke Schaefer	Université de Waterloo – Informatique
Zohreh Davoudi	Université du Maryland
Matthijis Vernooij	Université de technologie de Delft
Christophe Couteau	Université de technologie de Troyes
Zahra Khanian	Université technique de Munich
Sisi Zhou	Institut PÉRIMÈTRE
Ewan Murphy	Université Oxford
Ziheng Chang	Université de Calgary
Yunhong Gong	Université de Calgary
Matthew Yastremski	Université de Calgary
Senrui Chen	Université de Chicago
Tom Hapke	Université technique de Munich
Adrian She	Université de Toronto
Thomas Hanh	Institut Weizmann des sciences
Jong-Souk Yeo	Université Yongsei
Junqiao Lin	Centrum Wiskunde & Informatica
Romi Lifshitz	Institut Weizmann des sciences
Thomas Hanh	Institut Weizmann des sciences
Craig Colquhoun	Craft Prospect

Caitlin Stark	Craft Prospect
Sascha Zakaib-Bernier	Université de Montréal
Johannes Prell	Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique
Amirhossein Alizadehkhaledi	Université de Toronto
Mio Murao	Université de Tokyo
Alex May	Institut Périmètre
Jiwoong Park	Université de Chicago
David Perez-Garcia	Université Complutense (Madrid)
Jasminder Sidhu	Université de Strathclyde
Stefanie Hausler	Département des liens par satellite optique, Institute of Communications and Navigation
Harry Buhrman	QuSoft, Université d'Amsterdam
Yaroslav Herasymenko	Université de technologie de Delft
Peter Brown	Télécom Paris
Florian Kanitschar	Université technique de Vienne
Hermann Kampermann	Université Heinrich-Heine de Düsseldorf
Ian George	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign
Lukas Letuha	Université technique de Vienne
Jesse Anttila-Hughes	Université de San Francisco
Jerome Bourassa	Quibic
Meg Panetta	Quibic
Matthew Green	Quibic
Sreeraman Rajan	Université Carleton
David Luong	Université Carleton
Peter van Loock	Université Johannes-Gutenberg de Mayence
Eric Hudson	Université de la Californie du Sud
Sahel Ashhab	Institut national des technologies de l'information et des télécommunications
Thien Minh Quan Le	Université de l'Indiana
Gerardo Ortiz	Université Bloomington de l'Indiana
Jerome Bourassa	Quibic
Yujie Zhang	Université de Chicago à Urbana-Champaign
Urbasi Sinha	Institut de recherche Raman
Luca Dellantonio	University d'Exeter
Nir Bar-gill	Université hébraïque de Jérusalem
Charu Singh (Did not get Visa)	Institut indien de technologie de Delhi
Oliver Qi	Étudiant du secondaire
Rajesh Pereira	Université de Guelph
Eunou Lee	Université Sungkyunkwan



Minyoung Kim	Université nationale de Séoul
Siheon Park	Korea Advanced Institute of Science and Technology
Yuming Zhao	Institut d'informatique quantique
Luis Villegas Aguilar	Université Griffith
Bradley Hauer	National Institute of Standards and Technology (Boulder)
Ranyiliu Chen	Université de Copenhague
Dvira Segal	Université de Toronto
Brett Min	Université de Toronto
Mary-Margaret Lawrence	Université de Toronto
Matthew Pocrnice	Université de Toronto
Jade LeShack	Université du Maryland (College Park)
Hadiye Nisa Kuvvet	Collège Dartmouth
Olivier Lalonde	Université de Montréal
Luke Coffman	Université du Colorado à Boulder
Caleb Williams	University de l'Illinois à Chicago
Igor Klep	Université de Ljubljana
Atsuya Hasagawa	Université de Tokyo
Dvira Segal	Université de Toronto
Leticia Sakata	Université du Minnesota
Aprameyan Desikan	Indian Institute of Science and Education Research
Arora Arnav	Institut indien de technologie de Roorkee
Freya Shah	Université Ahmedabad
Shreya Jeedigunta Venkata Satya	Institut indien de technologie de Bombay
Omar Ali Ahmed	Université Case Western Reserve (Cleveland)
Dhristi Baruah	Institut indien de technologie de Bombay
Gerardo Adesso	University de Nottingham
Katanya Kuntz	Institut d'informatique quantique
Grecia Castelazo	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
Robin Kothari	Google Quantum AI
Mark Zhandry	NTT Research
Rolando Somma	Laboratoire national de Los Alamos
Xiaoqing Zhong	Ernst & Young
Bradley Hauer	National Institute of Standards and Technology
Sarah Powel	Université York
Jeremy Young	Université du Colorado
Jahan Claes	Université Yale
Emiliia Dyrenkova	Université de Californie à Berkeley