



Rapport annuel couvrant la période du **1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022**

**Destiné au ministère de l'Innovation, des Sciences
et du Développement économique
Le 31 juillet 2022**



MESSAGE DU DIRECTEUR GÉNÉRAL

L'exercice 2021-2022 en a été un de renouvellement à l'Institut d'informatique quantique (IQC). Une nouvelle direction générale et administrative, une nouvelle structure organisationnelle et un nouveau bureau de direction sont en place pour le 20^e anniversaire de l'IQC, et nous avons hâte de mettre à profit les succès des 20 dernières années.

Grâce à l'engagement et au soutien sans faille du gouvernement fédéral, l'IQC et le Canada font partie des principaux centres dans le domaine quantique au monde. Au cours de l'année écoulée, nous avons contribué au savoir quantique mondial avec 172 articles publiés, 130 exposés et 175 collaborations internationales en cours. Nos programmes d'études supérieures ont attiré 208 étudiants du monde entier, et nous avons lancé notre nouveau programme de maîtrise constitué de cours, adapté à la formation des professionnels hautement qualifiés dont l'industrie quantique naissante a besoin pour assurer sa croissance.

Les succès universitaires de l'IQC et l'esprit d'entreprise de l'Université de Waterloo ont créé un environnement, la *Quantum Valley*, où chacun de nos 3 bâtiments (le Centre Quantum-Nano Mike-et-Ophelia-Lazaridis et les 2 bâtiments du RAC) constitue un lieu de croissance. En plus de répondre aux besoins de son corps professoral en matière de laboratoires, l'IQC maintient aussi l'installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques, qui répond directement aux besoins d'équipes universitaires de tout le pays et rend disponibles des techniques avancées de fabrication qui incitent de nouvelles entreprises à rester au Canada.

Pas moins de 40 % des professeurs de l'IQC participent à la direction de jeunes entreprises issues de l'essaimage. Celles-ci amélioreront la résolution des appareils d'IRM, créeront des outils de métrologie plus avancés et assureront la sécurité des communications dans l'ère postquantique en émergence. En mai 2021, l'une de ces jeunes pousses a été acquise par une grande multinationale, mais elle poursuit ses opérations dans la région de Waterloo en raison des connaissances et de l'expertise technique présentes dans la région. La découverte et la commercialisation de puissantes nouvelles technologies nous promettent un avenir brillant. Nous sommes impatients que ces technologies jouent un rôle transformateur dans l'avenir du Canada et la vie des Canadiens.

À titre de nouveau directeur général de l'IQC, j'espère poursuivre ce parcours d'innovation avec le gouvernement du Canada. Merci de votre appui constant.

Bien à vous,



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



Table des matières

RÉSUMÉ.....	3
L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE	4
OBJECTIFS DU FINANCEMENT.....	5
Objectif A	6
Objectif B	44
Objectif C	56
Objectif D.....	63
Objectif E	72
ANNEXES	75
A. <i>Évaluation et mitigation des risques</i>	75
B. <i>Publications</i>	77
C. <i>Professeurs, professeurs-chercheurs adjoints et associés de recherche</i>	84
D. <i>Collaborations – Du 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022</i>	85
E. <i>Postdoctorants</i>	90
F. <i>Étudiants diplômés</i>	91
G. <i>Invitations comme conférencier et participations à des conférences</i>	94
H. <i>Scientifiques invités et visiteurs</i>	100

RÉSUMÉ

Les 20 dernières années ont vu des progrès significatifs de la science et de la technologie de l'information quantique. Nous sommes bien placés pour constater comment la recherche dans ce domaine entraîne la découverte et la mise au point de systèmes dont les capacités dépassent de beaucoup ce qui existait auparavant. Depuis sa fondation en 2002, l'IQC est devenu un moteur de la création de savoir et de technologie en informatique quantique, et il suscite des initiatives de commercialisation qui bénéficient déjà aux Canadiens et le feront pendant longtemps encore. L'IQC demeure un acteur-clé de l'économie quantique émergente du Canada.

À l'appui de son action, l'IQC a obtenu en 2019 du gouvernement du Canada un financement de 15 millions de dollars sur 3 ans. Ces fonds ont servi à poursuivre 5 objectifs-clés et à soutenir les grandes avancées que l'IQC a réalisées pour chacun d'entre eux.

Voici les points saillants de l'exercice 2021-2022 :

- obtention de plus de 29 700 000 \$ en fonds de recherche;
- recrutement de 1 nouveau professeur et de 10 associés de recherche;
- accueil de 12 nouveaux postdoctorants;
- publication de 172 articles dans des revues scientifiques à comité de lecture;
- total de près de 75 000 citations depuis la fondation de l'IQC;
- présentation d'exposés à 130 groupes de pairs universitaires au Canada et à l'étranger, avec plus de 175 collaborations en cours;
- réception de plus de 510 candidatures canadiennes et étrangères aux programmes d'études supérieures, avec une augmentation de 5 % de l'effectif étudiant qui se déclare de genre féminin;
- obtention de plus de 550 prix et distinctions par les étudiants diplômés de l'IQC;
- organisation de 2 ateliers, 39 séminaires et 3 colloques; parrainage de 8 programmes scientifiques à l'extérieur de l'IQC;
- plus de 199 000 visionnements totalisant plus de 21 500 heures dans le canal YouTube de l'IQC;
- lancement d'un nouveau programme de maîtrise constitué de cours et adapté aux professionnels de l'industrie, avec une première promotion diplômée en août 2022.

Avec ses partenaires, l'IQC œuvre à la construction de l'économie canadienne de l'information quantique à Waterloo. L'IQC a mis à profit son infrastructure unique au monde et ses capacités scientifiques exceptionnelles pour créer un milieu orienté vers les marchés, le premier du genre au Canada, pour la conception, la réalisation et les essais de services et appareils d'informatique quantique. La croissance rapide de l'IQC et ses progrès dans la connaissance du monde quantique consolideront la réputation de la région de Waterloo et du Canada comme chef de file planétaire du domaine quantique.



L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE

L'Institut d'informatique quantique (en abrégé IQC pour *Institute for Quantum Computing*) de l'Université de Waterloo a été fondé en 2002 afin de mener le développement de l'informatique quantique au bénéfice du Canada. L'IQC avait une vision audacieuse : **faire du Canada un chef de file de la recherche et lui donner l'infrastructure nécessaire afin que le pays soit un moteur de la recherche dans le domaine quantique**. Aujourd'hui, l'IQC fait partie des principaux instituts de recherche sur l'information quantique au monde. Des experts de tous les domaines de l'informatique quantique viennent à l'IQC pour y faire des recherches, partager leurs connaissances ainsi qu'encourager et former la nouvelle génération de scientifiques.

L'IQC mène la prochaine grande révolution technologique du Canada — la révolution quantique. Les dispositifs et applications quantiques mis au point dans les laboratoires de l'IQC constituent le fondement de technologies de la prochaine génération issues de la recherche effectuée ici même au Canada sur l'information quantique.

Rien de cela ne serait possible sans la vision et les investissements de Mike et Ophelia Lazaridis, du gouvernement du Canada, du gouvernement de l'Ontario et de l'Université de Waterloo. Ce partenariat public-privé stratégique accélère les progrès de la recherche et des découvertes en informatique quantique, non seulement au Canada, mais à l'échelle de la planète.

Vision et mission

L'IQC vise à exploiter la puissance de la mécanique quantique pour créer des technologies révolutionnaires qui bénéficieront à la société et deviendront le nouveau moteur de la croissance économique au XXI^e siècle et au-delà.

L'IQC a pour mission de développer et faire progresser la science et la technologie de l'information quantique au plus haut niveau international, grâce à la collaboration entre informaticiens, ingénieurs, mathématiciens et physiciens.

Objectifs stratégiques

Les 3 objectifs stratégiques suivants, définis en partenariat avec le gouvernement du Canada en 2008, orientent l'action de l'IQC :

1. faire de Waterloo un centre de calibre mondial pour la recherche sur les technologies quantiques et leurs applications;
2. attirer du personnel hautement qualifié en informatique quantique;
3. constituer une source faisant autorité en matière d'idées, d'analyses et de commentaires sur l'information quantique.

OBJECTIFS DU FINANCEMENT

Période 2019-2022

En 2019, le gouvernement du Canada a octroyé à l'IQC la somme de 15 millions de dollars sur 3 ans, en vue de la réalisation des 5 objectifs suivants :

- A. enrichir les connaissances dans les divers domaines et sous-domaines de l'informatique quantique, afin de placer les Canadiens à la fine pointe de la recherche et de la technologie de l'information quantique;
- B. offrir aux étudiants des occasions d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances, pour le bénéfice du Canada, afin de stimuler l'innovation et les investissements dans les activités de recherche et développement (R-D) grâce à la formation d'un personnel hautement qualifié;
- C. faire du Canada la destination de choix pour la recherche sur les technologies quantiques et y attirer les meilleurs au monde, en mettant sur pied des partenariats avec la communauté internationale de l'information quantique, et en favorisant à l'échelle mondiale l'excellence en science et technologie de l'information quantique;
- D. améliorer et étendre les activités publiques de formation et de diffusion des connaissances de l'IQC, afin de promouvoir effectivement la science et l'informatique quantique, et de montrer comment la recherche sur l'information quantique peut être appliquée en vue de soutenir et d'attirer des scientifiques de classe mondiale;
- E. traduire de plus en plus les résultats de la recherche en produits quantiques commercialisables qui apporteront des bénéfices économiques et sociétaux au Canada, et favoriser du même coup les projets conjoints et la collaboration avec des partenaires du secteur privé tout en suscitant des occasions de commercialisation.

Les activités planifiées et menées par l'IQC grâce à la contribution du gouvernement du Canada au cours des 3 dernières années ont positionné le Canada de manière à ce que celui-ci profite pleinement des bénéfices socioéconomiques venant de la recherche et de la technologie dans le domaine quantique. La suite de ce rapport présente les progrès réalisés pendant l'exercice 2021-2022.

Objectif A

Enrichir les connaissances dans les divers domaines et sous-domaines de l'informatique quantique, afin de placer les Canadiens à la fine pointe de la recherche et de la technologie de l'information quantique.

Résultat visé : Améliorer les connaissances en science et technologie de l'information quantique.

Activités prévues

- Poursuivre les recherches en collaboration et interdisciplinaires sur le calcul quantique, la communication quantique, les capteurs quantiques et les matériaux quantiques, menées par des professeurs de 3 facultés de l'Université de Waterloo – Génie, Mathématiques et Sciences.
- Publier les résultats de la recherche dans des revues scientifiques de premier plan.
- Recruter de nouveaux professeurs, professeurs-chercheurs adjoints et associés de recherche.
- Continuer d'équiper les laboratoires du Centre Quantum-Nano Mike-et-Ophelia-Lazaridis, à mesure que de nouveaux membres de l'IQC sont recrutés.
- Continuer d'équiper et d'entretenir l'Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques, pour permettre la fabrication de dispositifs quantiques.
- Mettre à niveau et entretenir les laboratoires des bâtiments du RAC (*Research Advancement Centre* – Centre d'avancement de la recherche).
- Continuer d'entretenir des relations effectives et pertinentes avec les partenaires actuels de l'IQC.
- Chercher à conclure de nouveaux partenariats favorisant l'accomplissement de la mission de l'IQC et l'atteinte de ses objectifs.



Publications de recherche et citations

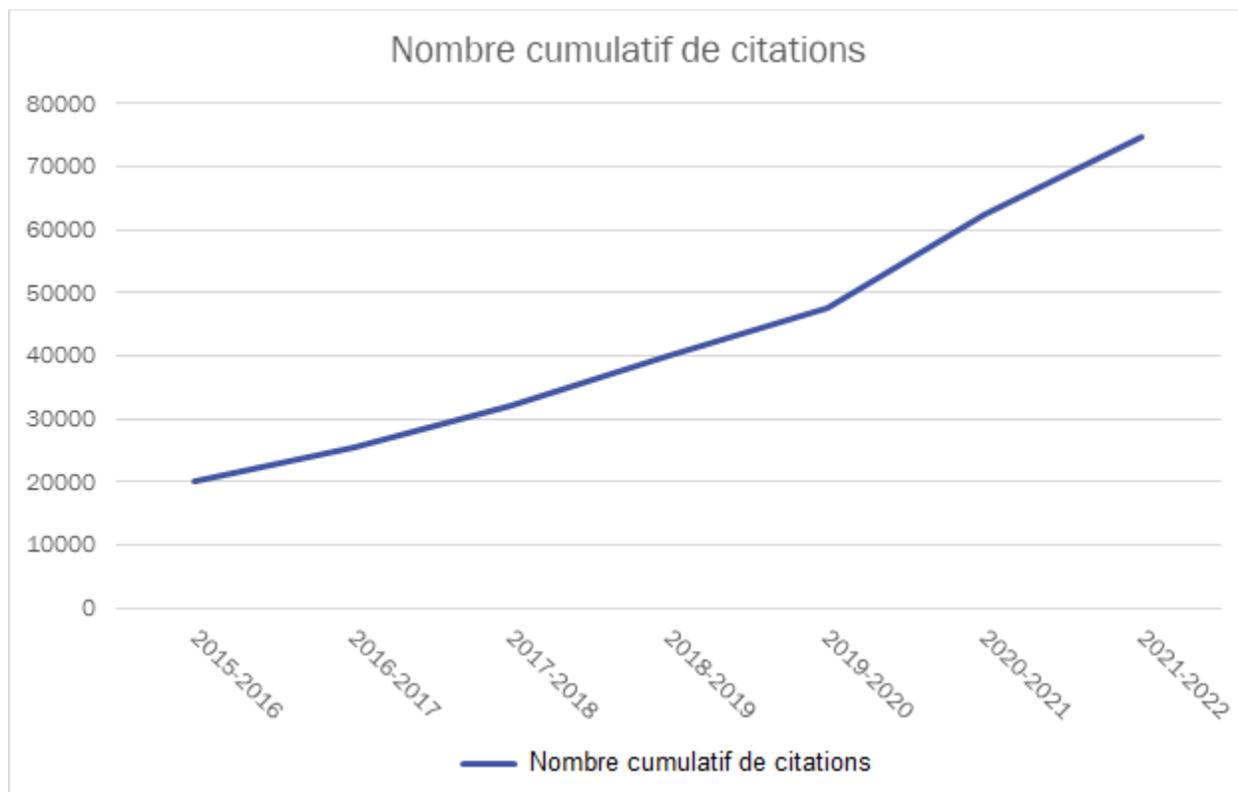
En 2021-2022, les chercheurs de l'IQC ont publié en tout 172 articles dans des revues scientifiques à comité de lecture, portant le nombre cumulatif de publications à 2 603¹ depuis 2002. Plusieurs articles sont parus dans des publications scientifiques de premier ordre, dont *Science*, les publications du groupe *Nature*, le *Journal of Mathematical Physics* et les *Physical Review Letters*. Voici un résumé des articles publiés dans des revues prestigieuses depuis 2015. L'annexe B, à la page 77, donne la liste complète des articles publiés au cours du dernier exercice.

Publications de premier ordre	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22
Revue du groupe <i>Nature</i>	7	9	9	4	9	12	11
<i>Physical Review Letters</i>	17	11	6	8	15	8	10
<i>Science</i>				1			2
<i>Journal of Mathematical Physics</i>	7	3	4	5	1	3	1
<i>Foundations of Computer Science</i>	2	1			9	1	0
<i>Symposium on Theory of Computing</i>	1	2	1	1	1	3	0
<i>Quantum Information Processing</i>	5	5	10	11	11	5	7

Une analyse plus poussée révèle que 69 % des articles de l'IQC (de 2016 à ce jour) ont été publiés en collaboration avec des chercheurs d'importants instituts et universités du monde entier, notamment l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), l'Université du Maryland, l'Université de technologie de Delft, l'Université Tsinghua, l'Université de Sherbrooke, l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université de Toronto.

¹ Cela comprend *Web of Science* et les revues de la base de données *Scopus* qui ne sont pas indexées dans *Web of Science*.

Le nombre de citations est aussi un indicateur important de l'influence des recherches publiées. Au 31 mars 2022, les articles publiés par des membres de l'IQC ont fait en tout l'objet de 74 855 citations. Le graphique ci-dessous montre l'augmentation importante du nombre de citations, étant donné la croissance modérée du corps professoral de l'IQC, ce qui témoigne de l'impact notable de ses chercheurs à l'échelle mondiale.



Source : Web of Science : $AD = ((Inst * Quant * Comp) \text{ OU } IQC) \text{ ET } ad = \text{waterloo} + \text{revues de la base de données Scopus qui ne sont pas indexées dans Web of Science} : AFFIL(Inst * Quant * Comp) \text{ ET } AFFILCITY(\text{waterloo})$; période couverte : de 2015 à 2022. Données extraites le 31 mars de chaque exercice.

Points saillants de la recherche

Les comptes rendus qui suivent ne constituent qu'un échantillon des recherches publiées par l'IQC au cours de la dernière année. Ils mettent en évidence l'étendue et la profondeur des recherches effectuées à l'Institut.

RÉDUIRE L'INFINI POUR LES COMMUNICATIONS QUANTIQUES

Dimension Reduction in Quantum Key Distribution for Continuous- and Discrete-Variable Protocols (Diminution du nombre de dimensions dans des protocoles de distribution quantique de clés à variables continues et modulation discrète)

Publié le 24 mai 2021 dans *PRX Quantum*

<https://journals.aps.org/prxquantum/pdf/10.1103/PRXQuantum.2.020325>

Des chercheurs de l'IQC ont mis au point une méthode qui simplifie l'analyse de protocoles de communications quantiques compatibles avec l'infrastructure actuelle de télécommunications.

Une technologie très intéressante rendue possible par la mécanique quantique est celle de la distribution quantique de clés (DQC), qui permet à 2 parties d'établir une clé secrète commune protégée pas les lois de la nature. Les 2 parties peuvent détecter si un intrus tente d'interférer avec leur communication, ce qui n'est pas possible avec des systèmes classiques. Si une intrusion significative est détectée, les parties peuvent simplement abandonner le protocole et reprendre la communication.

« Ce qui est passionnant à propos de la distribution quantique de clés, c'est qu'elle est déjà mise en œuvre de manière expérimentale », dit Twesh Upadhyaya, étudiant à la maîtrise à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie, et premier auteur de l'article. « Avec les bons protocoles, la DQC peut même être mise en œuvre à grande échelle avec l'infrastructure actuelle de télécommunications. » [traduction]

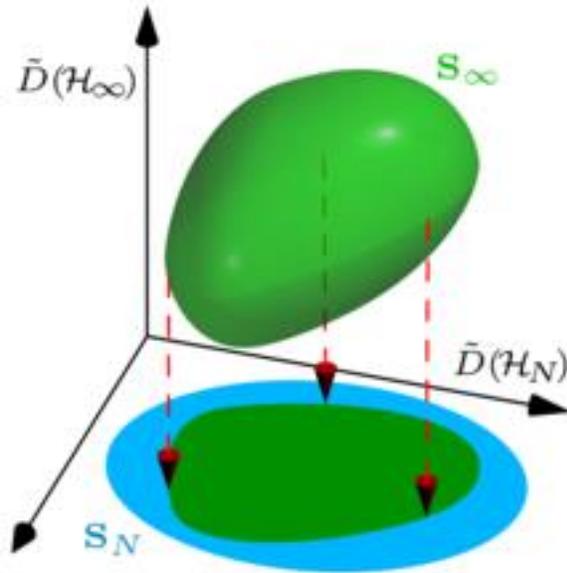
Le problème? Ces protocoles sont beaucoup plus difficiles à analyser.

L'information est codée par des impulsions de lumière laser envoyées par Alice à Bob. Une fois qu'un intrus a interagi avec les impulsions, chaque impulsion peut avoir un nombre de photons compris entre zéro et l'infini, ce qui donne un nombre infini de dimensions à l'état quantique. Il faudrait donc un nombre infini de lignes et de colonnes pour écrire l'état quantique sous forme d'une matrice. Cela pose un problème lorsque des chercheurs tentent de faire une étude quantitative de la sécurité de ces protocoles. Il n'est pas possible d'optimiser numériquement ces états ayant un nombre infini de dimensions, puisque les ordinateurs n'ont qu'une mémoire finie.

M. Upadhyaya et ses co-auteurs — le doctorant Jie Lin, le postdoctorant Thomas van Himbeeck et le professeur Norbert Lütkenhaus — ont mis au point une méthode de réduction du nombre de dimensions afin de résoudre ce problème. Cette méthode consiste à relier ce scénario au nombre infini de dimensions à un scénario fini plus simple, ce qui permet de faire une analyse de sécurité à l'aide des outils numériques actuels.

L'équipe a ensuite utilisé sa méthode pour analyser une classe de protocoles appelés *protocoles de DQC à variables continues et modulation discrète*, qui sont des candidats intéressants à une utilisation dans de grands réseaux sécurisés de manière quantique. Point crucial, l'équipe a constaté que la solution du problème réduit est voisine de celle

du problème original au nombre infini de dimensions. Cela signifie que presque rien n'est perdu dans le processus de réduction du nombre de dimensions.



« Nous avons trouvé une preuve de sécurité qui ne dépend pas d'hypothèses antérieures, mais qui donne quand même un bon rendement, dit M. Upadhyaya. Nous avons également trouvé que notre méthode ressemble à une version plus rapide et davantage généralisable d'une autre méthode de preuve qui ne s'applique qu'à une classe restreinte de protocoles. » [traduction]

Comme la méthode mise au point par les chercheurs pour réduire le nombre de dimensions est générale, Twesh Upadhyaya s'attend à ce qu'elle permette d'analyser d'autres protocoles de DQC qui pourraient être utiles pour les réseaux de communications quantiques de l'avenir. Il pense aussi que l'équipe pourra en étendre le cadre pour étudier d'autres questions intéressantes concernant la DQC, la vérification d'intrication et l'information quantique en général.

« La souplesse constitue un immense avantage des outils numériques. Dans le monde réel, les choses ne sont jamais aussi simples qu'en théorie. Il y a du bruit dans les appareils, des perturbations dans l'environnement, etc., mais cela peut être modélisé. C'est bien que notre méthode ramène des problèmes d'un nombre infini de dimensions à quelque chose que nos outils numériques actuels sont capables de traiter. » [traduction] La mise en œuvre des outils est fondée sur le cadre numérique élaboré par l'équipe pour les calculs de taux de clé, qui sera bientôt librement disponible.

Cela nous rapproche d'un avenir où des réseaux à grande échelle de communications quantiques protégeront nos données les plus importantes, avec des capacités d'analyse voisines des capacités d'expérimentation.



UN NOUVEL ALGORITHME UTILISE UN HOLOGRAMME POUR CONTRÔLER DES IONS PIÉGÉS

Reprogrammable and high-precision holographic optical addressing of trapped ions for scalable quantum control (Adressage optique holographique reprogrammable et de haute précision d'ions piégés en vue d'un contrôle quantique adaptable)

Publié le 8 avril 2021 dans *npj Quantum Information*

<https://www.nature.com/articles/s41534-021-00396-0>

Des chercheurs ont découvert la manière la plus précise de contrôler des ions individuels à l'aide d'une technologie de génie optique holographique.

Cette nouvelle technologie fait appel au premier dispositif de génie optique holographique connu afin de contrôler des qubits à ions piégés. Cette technologie devrait aider à mettre au point des contrôles plus précis de qubits, en vue du développement de matériel propre à l'industrie quantique. Ce matériel permettra de réaliser de nouvelles expériences de simulation quantique et potentiellement de mettre en œuvre des processus de correction d'erreurs quantiques pour des qubits à ions piégés.

« Notre algorithme calcule le profil de l'hologramme et supprime toutes les aberrations de la lumière, ce qui nous permet de mettre au point une technique très précise pour la programmation d'ions » [traduction], affirme le premier auteur Chung-You Shih, doctorant à l'IQC.

Kazi Rajibul Islam, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, est le chercheur principal de ce projet. Depuis 2019, son équipe piège des ions utilisés en simulation quantique au laboratoire d'information quantique, mais elle avait besoin d'un moyen précis de les contrôler.

Un laser pointé sur un ion peut modifier l'état quantique de cet ion, formant un élément de traitement d'information quantique. Cependant, les faisceaux laser comportent des aberrations et des distorsions qui peuvent se traduire par un point flou et large, ce qui pose un problème car la distance entre des ions piégés est de quelques micromètres — soit beaucoup moins que l'épaisseur d'un cheveu humain.

Pour stimuler les ions, l'équipe voulait disposer de faisceaux laser créés avec précision. Pour ce faire, elle a pris un laser, en a gonflé la lumière jusqu'à une largeur de 1 cm, puis l'a projetée à travers une matrice de micromiroirs (MDM) programmable fonctionnant comme un projecteur de films. La MDM se présente sous forme d'une puce comportant 2 millions de miroirs micrométriques contrôlés individuellement à l'aide d'une tension électrique. La MDM est programmée avec un algorithme mis au point par M. Shih pour afficher une image holographique. On peut contrôler avec précision l'intensité et la phase de la lumière produite par l'hologramme de la MDM.

Au cours des essais, l'équipe a été capable de manipuler chaque ion à l'aide de la lumière holographique. Les travaux précédents s'étaient heurtés à des interférences, car lorsqu'un laser est focalisé sur un ion, la lumière se répand sur les ions voisins. Grâce à



ce dispositif, l'équipe caractérise avec succès les aberrations en utilisant un ion comme capteur. Elle peut ensuite annuler les aberrations en réglant l'hologramme et obtenir les interférences les plus faibles au monde.

« Ce n'est pas facile d'utiliser des MDM disponibles dans le commerce, dit M. Shih. Leurs contrôleurs sont faits pour des projecteurs et pour la lithographie UV, et non pour des expériences quantiques. La prochaine étape consistera à mettre au point notre propre matériel pour des expériences de calcul quantique. » [traduction]

DES CHERCHEURS DE L'IQC OBSERVENT UN EFFET HALL SANS PRÉCÉDENT

Giant c-axis nonlinear anomalous Hall effect in T_d - $MoTe_2$ and WTe_2

(Effet Hall anormal non linéaire géant sur l'axe c dans T_d - $MoTe_2$ et WTe_2)

Publié le 6 avril 2021 dans *Nature Communications*

<https://www.nature.com/articles/s41467-021-22343-5>

Des chercheurs qui travaillent sur des matériaux cristallins bidimensionnels ont observé un effet électromagnétique, appelé *effet Hall anormal non linéaire*, d'une ampleur sans précédent. Leurs constatations ouvrent la voie à l'étude d'autres matériaux quantiques à l'aide de leurs techniques, ainsi qu'à des applications prometteuses dans des dispositifs d'électronique de spin.

« On a constaté un effet Hall anormal non linéaire dans d'autres matériaux ayant une faible symétrie cristalline, mais on ne pouvait pas prédire jusqu'à quel point cet effet serait important », a déclaré Wei Tsen, professeur à l'IQC et au Département de chimie de l'Université de Waterloo, auteur-ressource de l'article. « Ces travaux ouvrent donc la voie à l'étude d'autres matériaux à l'aide de méthodes semblables. » [traduction]

Comprendre les divers effets Hall

En 1879, Edwin Hall a constaté que l'application d'un champ magnétique perpendiculaire au courant électrique traversant un conducteur entraîne une baisse inattendue de la tension dans la direction du 3^e axe. On sait maintenant que cela est dû à une déviation de côté des électrons sous l'effet du champ magnétique. Ce phénomène a été baptisé *effet Hall*.

Plus tard, Edwin Hall a constaté que l'utilisation d'un conducteur magnétique produisait un effet Hall encore plus important, qui peut persister même après l'arrêt de l'application du champ magnétique. Cette variante est maintenant appelée *effet Hall anormal* (EHA).

« Il est tentant de penser que cela est dû uniquement à la magnétisation interne de l'échantillon, dit M. Tsen, mais il se trouve que ce phénomène a des causes profondes, de l'ordre de la mécanique quantique, que les scientifiques n'ont trouvées que récemment. » [traduction]



Encore plus récemment, des chercheurs ont démontré que des matériaux ayant une faible symétrie cristalline peuvent produire un effet Hall sans magnétisation de l'échantillon ni champ magnétique externe. Dans ce cas, le courant électrique lui-même magnétise effectivement le matériau, et cette magnétisation donne lieu à l'effet Hall. Comme l'ampleur de l'effet Hall augmente non pas de manière linéaire, mais plutôt avec le carré du courant, l'effet Hall est alors appelé *EHA non linéaire*.

Matériaux qui maximisent l'EHA

La découverte de l'EHA a incité les chercheurs à mesurer l'ampleur de l'effet Hall qu'ils peuvent obtenir avec différents matériaux sans que l'on applique un champ magnétique. Plus l'effet Hall est important pour un courant donné, plus le rapport de Hall est élevé. Des matériaux ayant un rapport de Hall élevé pourraient être utiles dans la mise au point de dispositifs d'électronique de spin qui font appel à un courant électrique pour contrôler le spin.

Les conducteurs magnétiques conventionnels ont typiquement un rapport de Hall d'environ 0,01. Les matériaux qui ont un EHA qualifié de « géant » ont un rapport de Hall d'environ 0,1. En tirant parti de la forte non-linéarité du ditellure de molybdène et du ditellure de tungstène, les chercheurs ont observé un rapport de Hall de 2,47, soit plus d'un ordre de grandeur de plus que les records précédents.

« C'était enthousiasmant de voir la manifestation de symétrie dans l'EHA non linéaire » [traduction], a déclaré Archana Tiwari, doctorante à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie, et première auteure de l'article.

« Beaucoup de conditions ont été réunies pour donner ce grand rapport de Hall, dit M. Tsen, notamment l'orientation dans laquelle nous avons mesuré la qualité du matériau et le mécanisme non linéaire lui-même. » [traduction]

La contribution de nombreux chercheurs a aussi été nécessaire pour que cette expérience puisse avoir lieu. L'EHA non linéaire dans l'orientation et les matériaux mesurés par M^{me} Tiwari et M. Tsen a été prédite par Binghai Yan, de l'Institut Weizmann des sciences en Israël et l'un des auteurs de l'article. Les matériaux ont été cultivés par Fangchu Chen, postdoctorant au sein de l'équipe de M. Tsen, et d'autres collaborateurs, alors que M. Chen était doctorant à l'Académie chinoise des sciences. Et des chercheurs de l'Université du Michigan à Ann Arbor ont effectué la caractérisation optique des échantillons.

Exploiter l'effet Hall

Après cette démonstration expérimentale d'un EHA non linéaire d'une ampleur extrêmement grande, M. Tsen espère continuer d'étudier les liens entre cet effet et d'autres propriétés comme le spin électronique. Des indices montrent déjà que ce type de lien existe, ce qui pourrait un jour être utile pour la mise au point de dispositifs d'électronique de spin tels qu'une mémoire vive magnétique.



Mais pour s'en assurer, il faut poursuivre les recherches. C'est exactement ce que Wei Tsen et son équipe comptent faire.

Ces recherches ont été financées par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC), par l'intermédiaire du groupe Technologies quantiques transformatrices (TQT), ainsi que par le Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis.

LA COMBINAISON DE L'INFORMATIQUE CLASSIQUE ET DE L'INFORMATIQUE QUANTIQUE OUVRE LA VOIE À DE NOUVELLES DÉCOUVERTES

A measurement-based variational quantum eigensolver

(Résolution de valeurs propres à l'aide d'un outil quantique variationnel fondé sur des mesures)

Publié le 1^{er} juin 2021 dans *Physical Review Letters*

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.126.220501>

Des chercheurs ont découvert une méthode nouvelle et plus efficace qui permet de combiner la fiabilité d'un ordinateur classique et la puissance d'un système quantique.

Cette nouvelle méthode de calcul ouvre la voie à divers algorithmes et expériences qui rapprochent les chercheurs en physique quantique d'applications à court terme et de découvertes technologiques.

« Dans l'avenir, on pourrait utiliser des ordinateurs quantiques dans une grande variété d'applications allant de l'élimination du dioxyde de carbone dans l'atmosphère à la mise au point de membres artificiels, en passant par la conception de médicaments plus efficaces », a déclaré Christine Muschik, chercheuse principale à l'IQC ainsi que professeure au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo.

L'équipe de recherche de l'IQC, en partenariat avec l'Université d'Innsbruck, est la première à proposer une méthode fondée sur des mesures dans une boucle de rétroaction avec un ordinateur classique, inventant du même coup une nouvelle manière de s'attaquer à de difficiles problèmes de calcul. Cette méthode est économe en ressources et peut donc faire appel à de petits états quantiques adaptés à des types précis de problèmes.

L'informatique hybride, où un processeur classique et un processeur quantique sont jumelés dans une boucle de rétroaction, offre aux chercheurs une méthode de résolution plus solide et plus souple que s'ils tentaient d'utiliser seulement un ordinateur quantique.

Alors que des chercheurs construisent actuellement des ordinateurs hybrides fondés sur des portes quantiques, l'équipe de M^{me} Muschik s'est intéressée aux calculs quantiques qui pourraient être effectués sans recourir à des portes. Elle a conçu un algorithme dans lequel un calcul hybride quantique-classique s'effectue en faisant une série de mesures sur un état quantique intriqué.



Les recherches théoriques de l'équipe constituent de bonnes nouvelles pour les réalisateurs et expérimentateurs en matière de logiciels quantiques, car elles fournissent une nouvelle manière d'envisager les algorithmes d'optimisation. L'algorithme conçu par l'équipe a une grande insensibilité aux défaillances, qui posent souvent des problèmes dans les systèmes quantiques, et fonctionne pour une grande variété de systèmes quantiques, y compris les coprocesseurs quantiques photoniques.

L'informatique hybride ouvre de nouvelles possibilités d'applications quantiques à court terme. En s'affranchissant des portes quantiques, Christine Muschik et son équipe ont évité d'avoir à composer avec des ressources sophistiquées et délicates. En utilisant plutôt des états quantiques intriqués, elles croient pouvoir créer d'une manière plus efficace des boucles de rétroaction adaptables aux données traitées par les ordinateurs.

« Les ordinateurs quantiques ont le potentiel de résoudre des problèmes hors de portée pour les superordinateurs actuels, mais ils sont encore fragiles et à l'état expérimental » [traduction], dit M^{me} Muschik.

Ce projet est financé par l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA).

COMMUNICATION ET IMAGERIE QUANTIQUES SANS VISIBILITÉ DIRECTE, GRÂCE À DE NOUVELLES RECHERCHES

Observing quantum coherence from photons scattered in free-space

(Observation de la cohérence quantique de photons dispersés dans l'espace libre)

Publié le 7 juin 2021 dans *Light: Science & Applications*

<https://www.nature.com/articles/s41377-021-00565-y>

Pour la première fois, des chercheurs ont transféré avec succès une cohérence quantique par l'intermédiaire de photons dispersés dans l'espace libre, ce qui ouvre de nouvelles avenues de recherche et des applications dans des domaines tels que les communications et l'imagerie quantiques.

« La capacité de transférer une cohérence quantique par l'intermédiaire de photons dispersés signifie que l'on peut maintenant faire beaucoup de choses qui exigeaient auparavant une visibilité directe dans l'espace libre » [traduction], a déclaré Shihan Sajeed, premier auteur de l'article et postdoctorant à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo.

Normalement, pour envoyer et recevoir des photons dans l'air (espace libre) pour des communications quantiques ou tout autre protocole codé de manière quantique, il faut une visibilité directe entre le transmetteur et le récepteur. Tout objet — aussi gros qu'un mur ou aussi petit qu'une molécule — situé sur le chemin optique va réfléchir certains photons et en disperser d'autres, en fonction de la réflectivité de la surface.

Toute information quantique codée dans les photons est généralement perdue dans les photons dispersés, ce qui rompt le canal de communication quantique.



Avec Thomas Jennewein, chercheur principal au laboratoire de photonique quantique de l'IQC, l'équipe a trouvé une manière de coder la cohérence quantique dans des paires d'impulsions photoniques émises l'une après l'autre, de telle sorte que la cohérence soit conservée même après la dispersion sur une surface diffuse.

Les chercheurs ont émis 2 impulsions laser ayant des phases différentes et interférant l'une avec l'autre une fois combinées — autrement dit des impulsions cohérentes. Cette qualité de cohérence est mesurée par la visibilité des photons. L'équipe a placé des détecteurs là où ils n'absorbaient que des photons dispersés provenant des impulsions laser, et elle a observé une visibilité de plus de 90 %, ce qui signifie que les photons ont conservé leur cohérence quantique même après avoir heurté un objet.

Cette technique innovatrice a exigé un matériel conçu spécifiquement pour mesurer la lumière cohérente produite. Le réseau de détecteurs de photons individuels employé par l'équipe pour mesurer la lumière recueillie pouvait détecter un milliard de photons par seconde avec une précision de 100 picosecondes. Seul un dispositif électronique de pointe pouvait traiter un tel flux de lumière, et l'équipe a dû concevoir son propre adaptateur électronique pour la communication entre les détecteurs et l'ordinateur programmé pour traiter les données.

« Notre technique peut aider à créer une image d'un objet à l'aide de signaux quantiques ou à transmettre un message quantique dans un environnement bruyant, dit M. Sajeed. Les photons dispersés détectés par notre capteur ont une certaine cohérence, alors que le bruit présent dans l'environnement n'en a pas, de sorte que nous pouvons rejeter tout sauf les photons émis à l'origine. » [traduction]

M. Sajeed s'attend à ce que ces résultats favorisent de nouvelles recherches et applications en détection, communication et imagerie quantiques dans des milieux d'espace libre. Dans leur article, les auteurs ont fait une démonstration de communication et d'imagerie quantiques, mais M. Sajeed dit que davantage de recherches permettraient de trouver comment leurs techniques seraient utilisables dans diverses applications pratiques.

« Nous croyons qu'elles pourraient servir dans diverses applications : lidar (télédétection par laser) enrichi de manière quantique, détection quantique, imagerie sans visibilité directe, etc., dit M. Sajeed. Les possibilités sont illimitées. » [traduction]

Ces travaux ont été financés par les organismes suivants : le Conseil national de recherches du Canada; Recherche et développement pour la défense Canada; Industrie Canada; la Fondation canadienne pour l'innovation; IRM Ontario; le Fonds pour la recherche en Ontario; le CRSNG, par l'intermédiaire du programme de subventions à la découverte, de CryptoWorks21 et du programme de subventions de partenariat stratégique; le FERAC, par l'intermédiaire du programme TQT.



UNE TECHNIQUE RÉVOLUTIONNAIRE RÉVÈLE DE NOUVEAUX DÉTAILS IMPORTANTS SUR UNE POSSIBLE « 5^e FORCE »

Pendellösung Interferometry Probes the Neutron Charge Radius, Lattice Dynamics, and Fifth Forces (Étudier le rayon de charge du neutron, la dynamique de treillis ainsi que des types de 5^e force, à l'aide de l'interférométrie de Pendellösung)

Publié le 9 septembre 2021 dans *Science*

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abc2794>

Un groupe de chercheurs vient d'utiliser une nouvelle technique révolutionnaire pour révéler des propriétés autrefois inconnues de cristaux de silicium technologiquement cruciaux, et a découvert du nouveau sur une importante particule subatomique et sur une 5^e force de la nature qui fait depuis longtemps l'objet d'hypothèses.

Ces travaux ont été menés à l'Institut national des normes et de la technologie des États-Unis (NIST) dans le cadre d'une collaboration internationale. Dmitry Pushin, chercheur principal à l'IQC ainsi que professeur au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, est le seul Canadien à avoir participé à ces travaux. Il s'intéressait à la production de capteurs quantiques de grande qualité à l'aide de cristaux parfaits.

En bombardant de neutrons des cristaux de silicium et en mesurant avec une extrême précision les résultats de ces collisions, les chercheurs ont obtenu 3 résultats extraordinaires : la première mesure en 20 ans d'une propriété-clé des neutrons à l'aide d'une seule méthode; les mesures les plus précises jamais effectuées des effets des vibrations liées à la chaleur dans un cristal de silicium; des limites sur la grandeur d'une possible « 5^e force » qui déborde du cadre des théories standard de la physique.

Ces plus récents travaux, fruits d'une collaboration entre chercheurs du Japon, des États-Unis et du Canada, ont permis de multiplier par 4 la précision des mesures du facteur de structure de cristaux de silicium.

Dmitry Pushin, qui se spécialise dans la physique des neutrons et l'interférométrie, a joué un rôle important dans la collecte des données sur les neutrons et la gravure chimique des échantillons, ce qui a conduit à l'examen de forces inexplorées allant au-delà du modèle standard.

« Cette expérience a duré plusieurs années, dit-il. Nous avons obtenu des résultats extraordinaires, passionnants sur le plan technique, qui ouvrent la voie vers de futures technologies. » [traduction]

Le modèle standard constitue actuellement la théorie largement acceptée sur les modalités d'interaction des particules et des forces à l'échelle de l'infiniment petit. Cependant, il n'explique pas complètement le fonctionnement de la nature, et des scientifiques soupçonnent que l'univers va au-delà de ce que cette théorie décrit.

Le modèle standard décrit 3 forces fondamentales de la nature : la force électromagnétique, l'interaction (nucléaire) forte et l'interaction (nucléaire) faible. Chacune de ces forces agit par l'intermédiaire d'une particule. Par exemple, le photon



est la particule qui transmet la force électromagnétique. Le modèle standard doit toutefois encore intégrer la gravité dans sa description de la nature. De plus, certaines expériences et théories laissent entendre qu'il pourrait y avoir une 5^e force.

Les chercheurs prévoient déjà faire davantage de mesures par interférométrie de Pendellösung sur le silicium et le germanium. Ils s'attendent à diviser par 5 les incertitudes sur leurs mesures, ce qui permettrait d'obtenir la mesure la plus précise à ce jour du rayon de charge du neutron et de mieux définir les contraintes sur une 5^e force — ou même découvrir une telle force. Ils prévoient aussi effectuer une version cryogénique de l'expérience. Cela donnerait une idée du comportement des atomes de cristaux dans leur « état quantique fondamental », qui explique pourquoi les objets quantiques ne sont jamais totalement au repos, même à des températures avoisinant le zéro absolu.

Ce projet est financé en partie par le FERAC, par l'intermédiaire du programme TQT.

Renseignez-vous davantage sur les recherches menées au [NIST](#).

DE NOUVELLES RECHERCHES OUVRENT UNE FENÊTRE SUR LES QUBITS INTRIKUÉS

Experimental Detection of the Correlation Rényi Entropy in the Central Spin Model
(Détection expérimentale de l'entropie de Rényi de corrélation dans le modèle de spin central)

Publié le 18 août 2021 dans *Physical Review Letters*

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.127.080401>

Des chercheurs ont mis au point une nouvelle manière de mesurer comment l'information quantique se comporte dans des systèmes quantiques corrélés. Cela pourrait permettre de comprendre et d'améliorer des dispositifs quantiques et des codes de correction d'erreurs quantiques.

« Nous sommes tous enthousiasmés par le potentiel de l'intrication quantique pour le traitement de l'information quantique » [traduction], dit Mohamad Niknam, qui était postdoctorant à l'IQC lorsqu'il a participé à la rédaction de l'article.

Mais pour exploiter l'[intrication quantique](#), les chercheurs ont besoin de comprendre comment se comporte l'information quantique lorsqu'elle est codée par un état intriqué d'une collection de qubits, appelé *système quantique à N corps*.

Prenons l'exemple d'un livre de 100 pages. Lorsqu'on lit une page, on prend connaissance de 1 % du contenu du livre. Dans la version quantique intriquée du même livre, chaque page ne donne par elle-même aucune information compréhensible, car l'information est codée dans la corrélation entre les pages. Ce n'est qu'après avoir lu toutes les pages que l'on comprend tout d'un coup le livre dans son ensemble.



Les qubits intriqués d'un processeur quantique ressemblent à cela. L'examen de qubits individuels ne révèle aucune information quantique, mais celle-ci est donnée par les corrélations de l'ensemble du système à N corps. Cette caractéristique fascinante des systèmes quantiques a des applications pratiques, en particulier pour la correction d'erreurs quantiques. Si l'information quantique est codée dans un état hautement intriqué, l'altération de l'un des qubits a peu d'effet sur l'intégrité de l'ensemble du message.

« Dans ces travaux, dit M. Niknam, nous avons introduit et mis en œuvre un protocole expérimental pour faire des observations collectives d'états quantiques à plusieurs qubits et révéler le volume des corrélations. Appliquée à un système intriqué, cette méthode mesure l'ampleur de l'état intriqué, c'est-à-dire essentiellement le nombre de pages du livre quantique intriqué. » [traduction]

L'équipe de chercheurs, qui comprend Lea Santos, de l'Université Yeshiva, et David Cory, professeur à l'IQC et au Département de chimie de l'Université de Waterloo, appelle la nouvelle quantité mesurée *entropie de Rényi des corrélations*.

Les chercheurs ont mis au point un protocole de mesure de cette entropie à l'aide de techniques de résonance magnétique nucléaire. Ils ont trouvé que l'entropie de Rényi des corrélations donne à propos de la dynamique à long terme du système quantique une information qui n'est généralement pas fournie par les entropies existantes telles que l'entropie d'intrication.

En permettant de mieux comprendre et quantifier la portée de l'information quantique, la nouvelle entropie sera utile aux scientifiques qui souhaitent mesurer et contrôler l'évolution de systèmes quantiques dans les dispositifs qui alimenteront la prochaine révolution quantique.

Mohamad Niknam, maintenant postdoctorant au Centre de physique et de génie quantiques à l'Université de la Californie à Los Angeles, dit qu'il a apprécié son séjour à l'IQC : « L'IQC m'a donné l'occasion d'étudier des problèmes fondamentaux de physique et de les examiner en laboratoire. » [traduction]

Il est heureux de travailler à la jonction de la théorie et des applications en concevant de nouvelles manières de créer des portes à 2 qubits et des qubits intriqués, de même que des applications de contrôle quantique.

Ces recherches ont été financées en partie par le FERAC.



CHAUD ET FROID : MAÎTRISER LE BRUIT DANS UN SATELLITE QUANTIQUE

Repeated radiation damage and thermal annealing of avalanche photodiodes

(Dommages d'irradiation et recuits thermiques répétés de photodiodes à avalanche)

Publié le 17 mai 2021 dans *EPJ Quantum Technology*

<https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-021-00103-0>

Le réseau Internet quantique est plus près de devenir une réalité depuis que des chercheurs ont montré une manière efficace de contrôler le bruit dans les détecteurs de photons d'un satellite quantique. « Cette expérience constitue une démonstration importante d'un sous-système crucial du satellite quantique, dans des conditions semblables à celles auxquelles il fera face lorsqu'il sera en orbite » [traduction], a déclaré Brendon Higgins, associé de recherche à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, et technicien en chef de l'équipe scientifique de [QEYSSat](#) (*Quantum Encryption and Science Satellite* – Satellite de cryptographie et physique quantiques).

La mission QEYSSat vise le lancement au début de 2023 du premier satellite quantique canadien, qui servira de démonstration technique d'un lien satellitaire quantique. Un réseau de satellites quantiques pourrait protéger nos données les plus précieuses en faisant appel aux lois fondamentales de la mécanique quantique, par le truchement de la distribution quantique de clés (DQC).

Pour que le réseau Internet quantique soit possible, il faut pouvoir envoyer des photons porteurs d'information quantique vers des satellites en orbite, et ces satellites doivent être équipés de détecteurs de photons individuels capables de recevoir cette information. Mais le rayonnement protonique présent dans l'espace et la nature des détecteurs eux-mêmes contribuent souvent à une sorte de bruit faux positif appelé *bruit de comptage*.

La lutte contre le bruit de comptage est l'un des principaux défis techniques auxquels s'attaque l'équipe scientifique de la mission QEYSSat, dirigée par Thomas Jennewein, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. S'ils parviennent à limiter le bruit de comptage, les détecteurs peuvent accomplir leur tâche de détection des clés quantiques véritables provenant des stations terrestres.

L'équipe s'est mise à la recherche de la meilleure méthode pour diminuer le bruit de comptage et faire en sorte que ses détecteurs puissent recevoir un signal quantique pur. Les 2 principaux moyens de lutter contre le bruit de comptage sont la chaleur et le froid.

Dans une expérience précédente, l'équipe a apporté quelques détecteurs de photons dans l'accélérateur de particules de TRIUMF, à Vancouver, et les a soumis pendant des périodes déterminées au type de rayonnement protonique qu'ils subiraient dans l'espace. Les scientifiques ont maintenu les détecteurs à une température aussi basse que possible sans recourir aux volumineux et coûteux cryostats qu'il serait difficile et



onéreux de mettre en orbite. Les chercheurs ont constaté qu'une basse température contribuait à réduire le bruit de comptage à un niveau presque acceptable.

Pour réparer les dommages causés par le rayonnement et diminuer encore plus le bruit de comptage, l'équipe a ensuite essayé la méthode dite de *recuit (ou recuisson)*. Le recuit consiste à chauffer un matériau juste assez pour que l'énergie thermique aide à en supprimer les défauts. L'équipe a constaté que le recuit abaissait le bruit de comptage à des niveaux requis pour permettre la distribution quantique de clés.

« Par contre, dit M. Higgins, lorsqu'ils seront en orbite dans l'espace, ces détecteurs vont constamment être soumis au rayonnement protonique et accumuler les défauts correspondants. La question importante est donc de savoir quand effectuer le recuit. »
[traduction]

L'équipe propose une réponse à cette question dans son plus récent article publié dans *EPJ Quantum Technology*.

Dans son orbite autour de la Terre, le satellite ayant à son bord les détecteurs devra à certains moments communiquer avec des stations terrestres, alors qu'à d'autres moments il va simplement poursuivre sa route. Les scientifiques voulaient savoir si, pour maîtriser le bruit de comptage, il était préférable de faire des recuits à des moments définis ou seulement lorsque le bruit de comptage atteindrait un certain seuil. Ils voulaient aussi savoir si l'exposition répétée au rayonnement fait en sorte que le bruit de comptage devient incontrôlable.

Pour répondre à ces questions, l'équipe a dû mener une expérience beaucoup plus complexe, qui lui permettait de refroidir les détecteurs, les irradier, puis faire un recuit, puis à nouveau refroidir et irradier les détecteurs, et ainsi de suite, afin de mieux simuler leur fonctionnement en orbite.

« Nous nous sommes rendu compte que nous pouvions maintenir le bruit de comptage sous le seuil nécessaire pour soutenir le protocole de DQC que nous souhaitons utiliser »
[traduction], dit M. Higgins.

L'équipe a également constaté que le fait de procéder aux recuits selon un horaire défini ou selon l'incidence du bruit de comptage ne faisait pas une grande différence. Par conséquent, pour le lancement du QEYSSat, l'équipe a décidé de prendre plus que moins de précautions et de procéder à un recuit seulement lorsque le bruit de comptage aura dépassé un seuil prédéfini.

Il y a encore beaucoup de travail à faire avant le lancement en 2023 du premier satellite canadien de communication quantique, mais ces récents résultats constituent une étape importante vers la réalisation d'un réseau Internet quantique fonctionnel.



SIMULER DES PARTICULES QUANTIQUES SUR UN TREILLIS

Quantum Simulation of the Bosonic Creutz Ladder with a Parametric Cavity

(Simulation quantique de l'échelle bosonique de Creutz à l'aide d'une cavité paramétrée)

Publié le 2 septembre 2021 dans *Physical Review Letters*

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.127.100503>

Une équipe de chercheurs de l'IQC a mis au point un nouveau simulateur quantique qui fait appel à des photons micro-ondes dans une cavité supraconductrice pour simuler des particules sur un treillis semblable à ceux que l'on trouve dans les supraconducteurs ou les noyaux atomiques.

« Il y a un intérêt particulier à effectuer des simulations quantiques de systèmes qui ne peuvent pas être simulés même avec les superordinateurs classiques les plus puissants », déclare Christopher Wilson, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de génie électrique et informatique de l'Université de Waterloo. « Même s'il existe de puissants outils de simulation classique, de nombreux problèmes importants demeurent insolubles. Nous présentons ici un environnement programmable qui fait appel à des circuits quantiques supraconducteurs. Nous l'utilisons pour une simulation à faible portée de l'échelle bosonique de Creutz, modèle historique important qui possède une grande variété de comportements intéressants, y compris des états topologiques et des états de bord. » [traduction]

Un simulateur quantique est un ordinateur quantique à usage limité : une machine que l'on peut programmer pour reproduire le comportement d'un système quantique précis trop complexe pour être simulé à l'aide de méthodes classiques. De nombreux chercheurs estiment que, grâce à leur simplicité relative, les simulateurs quantiques pourraient fournir des applications utiles plus tôt que des ordinateurs quantiques universels. Avec cet objectif en tête, M. Wilson et ses collègues utilisent une cavité supraconductrice montée sur une puce pour construire un simulateur quantique capable de simuler des particules quantiques sur un treillis. De tels systèmes de treillis de particules peuvent servir de modèles du comportement de supraconducteurs à haute température ou des particules qui forment un noyau atomique.

La cavité supraconductrice contient un rayonnement micro-ondes de fréquences précises, appelées *modes*, déterminées par la taille de la cavité. Les chercheurs modifient la taille effective de la cavité en retardant d'un intervalle variable la propagation des photons à une extrémité. Lorsque la cavité contient plusieurs photons micro-ondes, l'ajustement de sa longueur effective entraîne des interactions entre ses différents modes.

L'équipe a utilisé ce montage pour créer une échelle bosonique de Creutz — modèle simple de particules se déplaçant sur un treillis de 4 nœuds. Dans leur mise en œuvre du modèle, Christopher Wilson et ses collègues ont réglé les interactions entre modes de la cavité de telle sorte que chaque mode corresponde à un nœud du treillis. Ils ont aussi montré que le simulateur quantique peut être programmé *in situ* en introduisant dans la cavité des micro-ondes de différentes fréquences. Cette technique peut être adaptée à la



simulation de systèmes quantiques plus complexes en montant sur la puce plusieurs cavités supraconductrices.

L'équipe espère augmenter rapidement la taille de ses simulations et tester de nouveaux modèles. Elle s'attend à ce que la possibilité de programmer cet environnement permette des progrès plus rapides que des simulateurs conçus pour simuler un seul modèle.

Le résumé original en anglais a été rédigé par Sophia Chen pour [Physical Review Letters](#).

© APS/*Physics Magazine*

Ces recherches ont été financées en partie par le FERAC, par l'intermédiaire du programme TQT.

DONNER ACCÈS À L'OPTIQUE QUANTIQUE MULTIDIMENSIONNELLE

Remote state preparation of single-photon orbital-angular-momentum lattices

(Préparation à distance de treillis d'états de moment angulaire orbital de photons individuels)

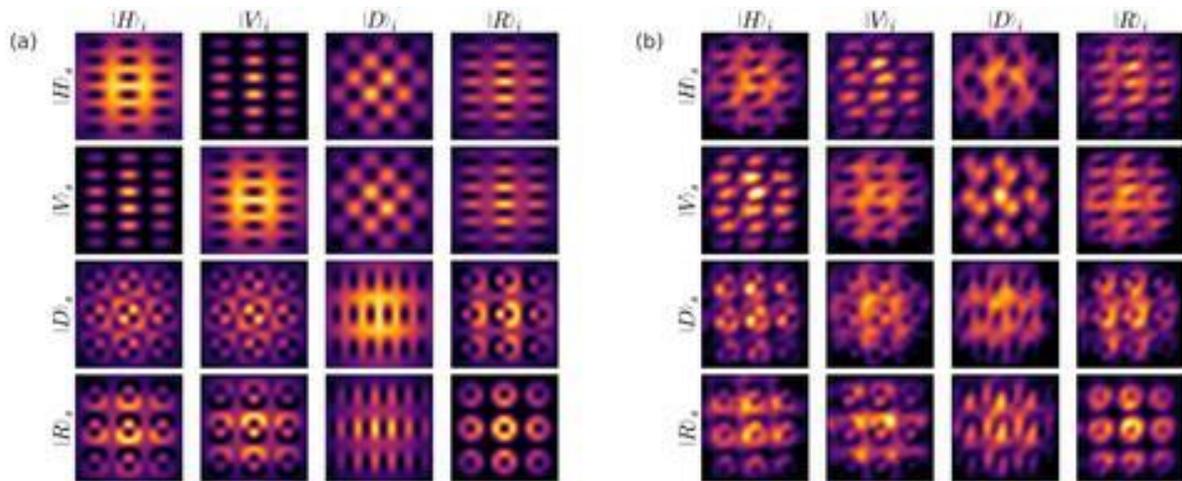
Publié le 22 novembre 2021 dans *Physical Review A*

<https://journals.aps.org/prapdf/10.1103/PhysRevA.104.L051701>

La collaboration joue un rôle-clé à l'IQC. Des chercheurs de l'IQC travaillent ensemble dans le but de donner accès à l'optique quantique multidimensionnelle. Ils font progresser la recherche fondamentale, en vue d'applications futures dans les communications et le calcul quantiques. S'appuyant sur des recherches antérieures, une équipe de scientifiques de l'IQC a mesuré la corrélation au sein de paires de photons intriqués en polarisation, en se servant de treillis d'états de moment angulaire orbital (MAO).

Le MAO est une propriété de la lumière qui exprime la quantité de rotation des photons. La polarisation de la lumière ne donne accès qu'à un nombre limité d'états, tandis que le MAO donne accès à un grand nombre d'états. L'équipe de l'IQC a utilisé à la fois la polarisation et le MAO, afin de combiner les avantages des deux. En augmentant le nombre d'états accessibles avec le MAO tout en exploitant la nature contrôlable de la polarisation, on fait progresser la recherche vers l'un des grands objectifs de l'optique quantique : l'intrication multidimensionnelle.

Des [travaux précédents menés par Dusan Sarenac](#), associé de recherche à l'IQC, portaient sur des treillis d'états de MAO de neutrons. Après le succès de cette première expérience sur des neutrons, l'équipe a émis l'hypothèse que l'on pourrait faire la même chose avec des photons.



Cameron, A. R., *et al.*, « Remote state preparation of single-photon orbital-angular-momentum lattices » (Préparation à distance de treillis d'états de moment angulaire orbital de photons individuels) », *Physical Review A*, vol. 104, 2021, article n° L051701.

« En apparence, les neutrons et les photons ne semblent pas avoir grand-chose en commun, mais lorsqu'on y regarde de près, on découvre passablement de points communs », dit Andrew Cameron, membre de l'IQC ainsi que doctorant au Département de physique et d'astronomie. « Parfois, les applications des uns s'avèrent également intéressantes pour les autres. » [traduction]

L'IQC bénéficie du fait que des théoriciens et des expérimentateurs travaillent ensemble, exploitant une méthode de recherche axée sur la collaboration et l'interdisciplinarité. Chacun des scientifiques a apporté l'expertise qui lui est propre à chaque étape de l'expérience, de sa conception à sa mise en œuvre au laboratoire d'optique et d'information quantiques.

L'équipe a d'abord fait la démonstration d'un effet Talbot de treillis d'états de MAO avec des photons individuels. Les plus récentes recherches montrent une intrication entre de multiples particules, ce qui n'est pas encore possible avec des neutrons.

« Nous avons publié notre premier rapport sur ce qui se passe lorsque des états de ce genre de treillis se propagent, dit M. Cameron. Au fur et à mesure de la propagation, ils se transforment et interfèrent avec eux-mêmes. C'est ce que l'on appelle l'effet Talbot. L'étape suivante a consisté à appliquer la transformation du treillis à l'un des photons, afin de produire des corrélations entre le MAO d'un photon et la polarisation de son partenaire d'intrication. » [traduction]

Il y a intrication lorsque 2 objets ou particules ont entre eux une corrélation si étroite que les propriétés de l'un des objets ne peuvent pas être décrites sans considérer les propriétés de l'autre. En prenant des paires de photons intriqués en polarisation, l'équipe a fait traverser un prisme par un photon de chaque paire pour en manipuler le MAO. L'équipe a ensuite mesuré la polarisation de l'un des photons intriqués pour



déterminer le treillis d'états de MAO de son partenaire. L'expérience a révélé une étroite corrélation entre les photons d'une même paire, ce qui est un signe d'intrication.

Les prochains travaux consisteront à étudier les treillis avec davantage de paires de prismes, afin d'augmenter le nombre d'états de MAO accessibles. L'accès à l'optique quantique multidimensionnelle permettra d'étendre les protocoles de communication quantique, pour les rendre plus robustes et coder davantage d'information.

Kevin Resch, chercheur principal, a supervisé ces travaux en collaboration avec l'initiative TQT de l'IQC, dirigée par le professeur David Cory. Ces recherches ont été financées en partie par le FERAC, par l'intermédiaire de TQT.

COMBATTRE LA DIAPHONIE DANS LES ORDINATEURS QUANTIQUES

Calibration of flux crosstalk in large-scale flux-tunable superconducting quantum circuits
(Étalonnage de la diaphonie dans des circuits quantiques supraconducteurs réglables et de grande taille)

Publié le 20 octobre 2021 dans *PRX Quantum*

<https://journals.aps.org/prxquantum/pdf/10.1103/PRXQuantum.2.040313>

Sur la voie d'une meilleure régulation d'ordinateurs quantiques de grande taille, des chercheurs ont fait la démonstration d'un nouvel outil pour compenser la diaphonie dans des circuits supraconducteurs.

« Ultiment, si nous voulons construire de très grands ordinateurs quantiques, il nous faudra maintenir les erreurs à un niveau qui soit gérable », a déclaré Adrian Lupascu, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. « Dans cet article, nous montrons que nous avons réussi à maîtriser un point où des erreurs se glissent, celui qui concerne les signaux de commande. »
[traduction]

Une puce supraconductrice peut comporter de nombreux qubits — version quantique des bits des ordinateurs classiques —, et les scientifiques doivent pouvoir envoyer un signal électrique ou magnétique à chacun des qubits pour les commander individuellement.

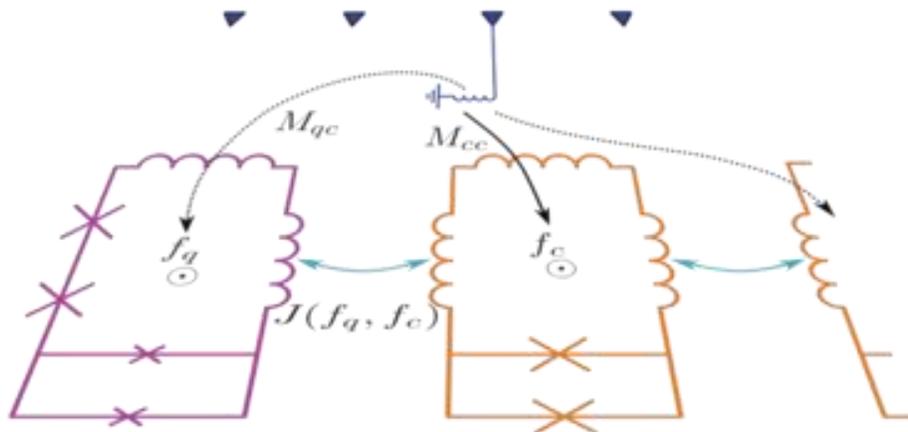
Cependant, il n'est pas facile de maintenir une régulation indépendante. Avec un aussi grand nombre de signaux de commande si rapprochés sur une même puce, certains signaux sont partiellement « empruntés » par des qubits auxquels ils n'étaient pas destinés, et il en résulte un bruit confus. Cette pollution est appelée *diaphonie*.

Pour combattre la diaphonie, l'idéal est de concevoir dès le départ le dispositif concerné de manière à éviter ce phénomène. Mais cela est plus facile à dire qu'à faire et, selon le type de dispositif, ce n'est pas toujours possible.

Une autre méthode consiste à compenser la diaphonie. Si le qubit n° 1 reçoit trop de signal parce qu'il est affecté par le signal destiné au qubit n° 2, on peut compenser en

modifiant le niveau de signal envoyé à chaque qubit. Mais le problème est alors le suivant : pour réaliser une compensation adéquate, il faut connaître avec précision la diaphonie qui se produit. Les grands systèmes quantiques sont trop difficiles à simuler, ce qui d'ailleurs va de pair avec leur grande puissance potentielle. Mais cela signifie aussi qu'il est difficile d'en modéliser toute la dynamique.

Les chercheurs ont trouvé un autre moyen. Ils ont créé un outil entièrement automatisé, qui exploite une propriété, fondamentale et connue, des circuits supraconducteurs pour faire une première estimation de la diaphonie. Leur outil procède ensuite par itération jusqu'à ce qu'il caractérise la diaphonie de manière très précise.



Couplage entre le signal électrique de commande (en bleu foncé) et les circuits supraconducteurs (en violet et orangé). La flèche noire pleine représente le couplage vers le circuit visé, alors que les flèches en pointillé représentent des couplages vers d'autres circuits. Les flèches bleu sarcelle représentent des interactions entre circuits, qui nuisent aux mesures d'étalonnage de la diaphonie.

Fait important, l'équipe a effectué la démonstration de son outil sur un dispositif qui constitue l'un des plus gros ordinateurs quantiques actuellement en fonctionnement, pour ce qui est du nombre de signaux de commande indépendants, ce qui est prometteur pour les systèmes à venir, qui seront de taille toujours croissante. Et comme l'outil exploite une propriété fondamentale des systèmes supraconducteurs, on peut l'utiliser quelle que soit la conception du dispositif à base de circuits supraconducteurs.

L'équipe a également élaboré une méthode de quantification de l'erreur due au fonctionnement de l'outil, ce qui permet de savoir jusqu'à quel point on arrive à déterminer la diaphonie réelle du dispositif mesuré. Les résultats obtenus jusqu'à maintenant sont prometteurs : les taux d'erreur sont bien en deçà des seuils compatibles avec un traitement extensible de l'information quantique.



Cette percée résulte d'un programme international de recuit quantique auquel participent plus de 10 partenaires des milieux universitaire, gouvernemental et industriel. L'un de ces partenaires est le Laboratoire Lincoln du MIT, au Massachusetts, où a eu lieu une grande partie du travail d'expérimentation.

« Je dirais que c'est l'outil d'analyse le plus perfectionné sur lequel j'ai travaillé, dit M. Lupascu. C'est très intéressant de voir la capacité de traiter tant de données de manière fiable et essentiellement sans intervention humaine. » [traduction]

Le premier auteur de l'article, Xi Dai, doctorant à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie, a joué un rôle crucial dans cette percée.

« De nombreuses mises en œuvre du calcul quantique reposent sur la régulation électrique de qubits, dit M. Dai, et la diaphonie est un obstacle important à la réalisation d'ordinateurs quantiques de grande taille. Nous avons proposé une méthode automatisée innovatrice d'étalonnage de la diaphonie, et nous l'avons appliquée à des dispositifs supraconducteurs comportant jusqu'à 27 boucles de régulation, nombre parmi les plus élevés dans le domaine. » [traduction]

Ces travaux forment une autre pièce du casse-tête que constitue un ordinateur quantique puissant, capable d'effectuer des opérations totalement hors de portée d'un ordinateur classique.

« Pour construire un ordinateur quantique utile, dit M. Lupascu, il faut assembler de nombreux qubits et maintenir de faibles taux d'erreur. Cela exigera probablement une combinaison de concepts scientifiques fondamentalement nouveaux et d'avancées techniques majeures. » [traduction]

On ne voit peut-être pas clairement la réponse ultime, mais la compensation de la diaphonie constitue une étape petite mais utile vers une solution.

FAIRE LE PONT ENTRE LA THÉORIE ET LA RÉALITÉ EXPÉRIMENTALE

How to build Hamiltonians that transport noncommuting charges in quantum thermodynamics (Comment construire des hamiltoniens de transport de charges non commutantes en thermodynamique quantique)

Publié le 27 janvier 2022 dans *npj Quantum Information*

<https://rdcu.be/cGexB>

Deux chercheurs, dont Shayan Majidy, doctorant à l'IQC, ont mis au point un outil mathématique pour étudier la thermodynamique quantique sur des dispositifs quantiques existants. Ces recherches contribuent à combler le fossé entre la théorie et la réalité expérimentale.

Le domaine de la thermodynamique décrit les échanges d'énergie sous forme de chaleur et de travail. Traditionnellement, ce domaine d'étude met l'accent sur des systèmes macroscopiques.



Une tasse de café bouillant posée sur une table finit par se refroidir. Elle fait cela en transférant de la chaleur à son environnement. La chaleur est un exemple de « charge », c'est-à-dire une quantité qui peut se déplacer localement, mais qui est conservée globalement.

La thermodynamique quantique considère des systèmes à l'échelle atomique et tient compte des effets quantiques. En mécanique quantique, des charges ne peuvent pas *commuter*. Cela signifie que si l'on connaît quelque chose à propos d'une charge, il se peut que nous ne connaissions rien à propos d'une autre. Dans l'exemple de la tasse de café, une tasse de café quantique peut échanger des charges non commutantes avec son environnement. Par exemple, même si nous savons de combien la tasse se refroidit, nous ne pouvons pas savoir ce qui arrive aux particules du café qui s'évaporent dans l'environnement.

L'étude des charges non commutantes a entraîné plusieurs découvertes théoriques en thermodynamique quantique. Il existe maintenant une méthode qui aide à faire le pont entre ces découvertes et la réalité expérimentale.

Shayan Majidy, récipiendaire d'une bourse du Canada Vanier et doctorant à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, et Nicole Yunger Halpern, chercheuse à l'Université du Maryland, ont élaboré une méthode de construction d'un hamiltonien — fonction mathématique qui décrit l'évolution d'un système dans le temps — pour un système de charges non commutantes.

Cette nouvelle méthode permet de concevoir des expériences concrètes pour mettre à l'épreuve des résultats théoriques proposés en thermodynamique quantique — et trouver par exemple ce qui arrive physiquement à la tasse de café quantique une fois qu'elle a échangé des charges avec son environnement.

« Nous avons formulé cette méthode pour construire des hamiltoniens de transport de charges non commutantes, dit M. Majidy. C'est très intéressant, parce que les hamiltoniens sont le langage des expérimentateurs. Nous espérons que quelqu'un pourra se servir de nos travaux pour tester en laboratoire des résultats théoriques de thermodynamique quantique sur des dispositifs de traitement quantique tels que des ions piégés, des atomes ultrafroids, des supraconducteurs ou des systèmes de résonance magnétique nucléaire. » [traduction]

La mise à l'épreuve de théories de thermodynamique quantique sur des charges non commutantes pourrait entraîner des révélations intéressantes. « Les effets quantiques se sont traduits par des choses auparavant impensables dans divers domaines, explique M. Majidy. Mentionnons par exemple l'imagerie d'organes internes et les nombreuses applications des lasers. C'est enthousiasmant de penser à ce que l'on pourrait accomplir en appliquant la mécanique quantique à la thermodynamique. » [traduction]

Pour l'instant, on envisage des possibilités fascinantes d'application de charges non commutantes aux technologies quantiques. Des moteurs thermiques quantiques plus



efficaces et des mémoires quantiques plus durables pourraient faire partie des applications possibles.

Pour en savoir plus à propos de ces travaux, lisez dans *Quantum Frontiers* le blogue de Shayan Majidy intitulé [Building a Koi pond with Lie algebras](#) (Construire un étang de Koi avec des algèbres de Lie).

DES CHERCHEURS CANADIENS RÉUSSISSENT LA PREMIÈRE SIMULATION QUANTIQUE DE BARYONS

SU(2) hadrons on a quantum computer via a variational approach (Hadrons $SU(2)$ simulés dans un ordinateur quantique à l'aide d'une méthode variationnelle)

Publié le 11 novembre 2021 dans *Nature Communications*

<https://www.nature.com/articles/s41467-021-26825-4>

Une équipe de chercheurs dirigée par une professeure à l'IQC vient d'effectuer la toute première simulation de baryons — particules quantiques fondamentales — dans un ordinateur quantique.

Cette réussite constitue une étape vers des simulations quantiques plus complexes qui permettront aux scientifiques d'étudier les étoiles à neutrons, d'en apprendre davantage sur le commencement de l'univers et de réaliser le potentiel révolutionnaire des ordinateurs quantiques.

« Il s'agit d'un progrès important, la toute première simulation de baryons dans un ordinateur quantique », a déclaré Christine Muschik, professeure à l'IQC. « Au lieu de provoquer des collisions de particules dans un accélérateur, nous pourrions peut-être simuler dans un ordinateur quantique ces interactions, afin d'étudier les origines de l'univers et bien d'autres phénomènes. » [traduction]

M^{me} Muschik — également professeure de physique et d'astronomie à l'Université de Waterloo, de même que professeure associée à l'Institut Périmètre — dirige le [groupe d'étude des interactions quantiques](#), qui travaille sur la simulation quantique de théories de jauge en treillis. Ces théories visent à décrire la physique de la réalité, y compris le modèle standard de la physique des particules. Plus une théorie de jauge englobe de champs, de forces, de particules, de dimensions spatiales et d'autres paramètres, plus elle est complexe — et plus il est difficile de la modéliser à l'aide d'un superordinateur classique.

Les théories de jauge non abéliennes sont des candidates particulièrement intéressantes à des simulations, parce qu'elles sont responsables de la stabilité de la matière telle que nous la connaissons. Les ordinateurs classiques peuvent simuler la matière non abélienne décrite dans ces théories, mais il y a des situations importantes — comme celles où la matière est très dense — qui sont inaccessibles à ces ordinateurs. Et alors que la capacité de décrire et de simuler la matière non abélienne est fondamentale pour décrire notre univers, une telle simulation n'a jamais été réalisée dans un ordinateur quantique.



Travaillant avec Randy Lewis, de l'Université York, l'équipe de M^{me} Muschik a élaboré un algorithme quantique économe en ressources qui a permis de simuler un système dans une théorie de jauge non abélienne simple, en utilisant l'ordinateur quantique d'IBM accessible par infonuagique, couplé à un ordinateur classique.

Avec cette étape emblématique, les chercheurs ouvrent la voie vers la simulation quantique de théories de jauge qui vont bien au-delà des capacités et des ressources des superordinateurs même les plus puissants au monde.

« Ce qui est enthousiasmant pour nous dans ces résultats, c'est la possibilité d'aborder des théories beaucoup plus complexes », a déclaré Jinglei Zhang, postdoctorante à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo.
« Nous pouvons envisager de simuler de la matière plus dense, ce qui dépasse les capacités des ordinateurs classiques. » [traduction]

Avec la mise au point d'ordinateurs et algorithmes quantiques plus puissants, les scientifiques seront capables de simuler la physique de ces théories de jauge non abéliennes plus complexes et d'étudier des phénomènes fascinants hors de portée pour les meilleurs superordinateurs classiques.

Cette percée constitue une étape importante vers une nouvelle ère de compréhension de l'univers fondée sur la simulation quantique.

Ces recherches ont été financées en partie par l'Institut canadien de recherches avancées, de même que par le FERAC, par l'intermédiaire du programme TQT.

Visionnez la vidéo [The first simulation of baryons on a quantum computer](#) (La première simulation de baryons dans un ordinateur quantique), qui donne une explication visuelle de ces nouveaux résultats.

UN RÉGLAGE FIN DE RÉACTIONS CHIMIQUES GRÂCE À L'INTERFÉRENCE QUANTIQUE

Control of reactive collisions by quantum interference

(Contrôle de collisions de réaction par interférence quantique)

Publié le 3 mars 2022 dans la revue *Science*

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abl7257>

En chimie, les composantes fondamentales sont les atomes et les molécules, qui jouent un rôle important dans notre compréhension du monde. Le refroidissement d'atomes et de molécules à des températures ultrabasses ouvre de nouvelles perspectives sur la chimie quantique. En travaillant à des températures de l'ordre du nanokelvin, soit un milliard de fois plus froid que l'Antarctique en hiver, les chercheurs peuvent observer et contrôler les particules selon des modalités impossibles à la température ambiante. Lorsqu'elles sont vraiment froides, les particules se comportent de manière étrange et



passionnante. Les chercheurs obtiennent des résultats inattendus en observant des particules selon une perspective quantique.

De nouvelles recherches effectuées par Alan Jamison, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, en collaboration avec le Centre d'atomes ultrafroids du MIT et de l'Université Harvard, ont fait la démonstration du contrôle magnétique de réactions chimiques par interférence quantique. L'équipe de chercheurs a réussi à régler finement des réactions chimiques entre un atome et une molécule en vue d'applications futures en chimie.

En laboratoire, les chercheurs ont refroidi des atomes de sodium ainsi que des molécules de sodium et lithium. Une température ultrabasse crée un milieu où les particules ralentissent et sont plus faciles à observer. Les chercheurs peuvent alors utiliser des états quantiques pour contrôler les particules.

En étudiant des réactions chimiques dans des états quantiques précis, on peut apprendre comment un effet tel qu'une interférence peut orienter les réactions. Pour qu'une réaction chimique se produise, des particules doivent entrer en collision à courte portée. Par contre, à des températures ultrabasses, les particules se repoussent généralement à des distances plus grandes. Lorsqu'une réaction est assurée chaque fois que des particules entrent en collision à courte portée, la vitesse de réaction peut être calculée et porte alors le nom de *limite universelle*.

Étonnamment, lorsqu'une réaction est peu probable à courte portée, il devient possible, grâce à l'[interférence quantique](#), d'ajuster la vitesse de réaction pour qu'elle soit supérieure à la limite universelle. Dans le monde quantique, les particules se comportent comme des ondes et peuvent avoir des interférences constructives ou destructives, selon que les ondes s'additionnent ou s'annulent mutuellement.

Si 2 particules peuvent entrer en collision à courte portée puis s'éloigner l'une de l'autre sans qu'une réaction ne survienne, la partie de la fonction d'onde de retour peut interférer avec la partie de la fonction d'onde qui a été repoussée à grande distance et annuler du même coup une portion de celle-ci. Avec un bon réglage de la collision, l'interférence destructive à grande distance devient forte, de sorte que les particules entrent beaucoup plus souvent en collision à courte portée.

L'équipe de chercheurs a montré pour la première fois qu'il est possible de modifier la vitesse de réaction, la faisant passer d'une vitesse très inférieure à la limite universelle à une vitesse très supérieure à cette limite. À l'aide d'une résonance de Feshbach, elle a réussi à régler cette interférence destructive de manière à contrôler des réactions chimiques. Une résonance de Feshbach se produit lorsque 2 ou plusieurs particules entrent en collision et sont liées pendant une courte période de temps. Elle permet aux chercheurs de modifier les modalités des collisions.

« Nous pouvons régler la vitesse de réactions chimiques, dit M. Jamison, et essayer d'avoir une idée de la manière dont elles se déroulent. Une résonance de Feshbach nous

permet de régler la vitesse de réaction dans les 2 sens, c'est-à-dire les ralentir ou les accélérer. » [traduction]

On peut comparer cela au fait de tourner le bouton des fréquences d'un récepteur radio pour syntoniser une station. Si on obtient le bon réglage, on entend clairement les émissions de la station en question, mais si le bouton n'est pas à la bonne position, on entend des parasites. La résonance de Feshbach a permis à l'équipe de régler et guider les réactions chimiques impliquant des atomes et des molécules. Les chercheurs ont fait passer la résonance d'un point où une réaction donnée était improbable à un point où elle était très probable.

Le contrôle quantique de réactions chimiques ouvre de passionnantes avenues de recherche fondamentale dans de nouveaux territoires à explorer.

« Du point de vue d'un physicien, la chimie est un domaine complexe, dit M. Jamison. Dans chaque discipline, les scientifiques ont des outils spécifiques pour faire leurs recherches. En abordant la chimie sous l'angle de la physique, on peut trouver de nouvelles idées fondamentales. » [traduction]

Recrutement — Corps professoral

En plus de la recherche et de la formation, l'IQC accorde chaque année une place importante aux activités de recrutement, afin de continuer d'attirer des théoriciens et expérimentateurs de premier plan dans une variété de disciplines. L'Institut compte actuellement 31 professeurs qui travaillent en équipe pour résoudre des problèmes difficiles concernant l'extension de systèmes quantiques complexes. En 2021-2022, l'IQC a accueilli un nouveau professeur-chercheur adjoint au sein de son équipe de scientifiques.



Shalev Ben-David s'est joint à l'École d'informatique David-R.-Cheriton à titre de professeur adjoint en juillet 2018. Il était auparavant postdoctorant à l'Université du Maryland à College Park. Il a obtenu en 2017 un doctorat en génie électrique et informatique à l'Institut de technologie du Massachusetts, sous la direction de Scott Aaronson. En janvier 2022, M. Ben-David est devenu membre du corps professoral de l'IQC pour poursuivre ses recherches en théorie de la complexité des algorithmes classiques et quantiques.

Pour mener ses recherches de pointe tout en participant à l'esprit d'entreprise de l'Université de Waterloo, l'IQC doit faire concurrence non seulement à d'autres institutions universitaires pour le recrutement de scientifiques de classe mondiale, mais aussi à un secteur privé en forte croissance à la recherche de spécialistes du domaine quantique, y compris des entreprises créées par nos professeurs actuels. En plus de recruter un nouveau professeur en 2021-2022, l'IQC a été victime de son succès lorsque



Joel Wallman, Ph.D., a quitté l'IQC pour aller chez Keysight Technologies, qui a acquis Quantum Benchmark, entreprise qu'il avait fondée avec Joseph Emerson, Ph.D. De plus, étant la première institution universitaire en son genre dans le domaine de la science et technologie quantique, l'IQC (qui a fêté son 20^e anniversaire en 2022) a vu en 2021-2022 le départ à la retraite de Vern Paulsen, Ph.D. Notons toutefois que les deux anciens professeurs demeureront membres associés du corps professoral de l'IQC.

Recrutement — Associés de recherche

Malgré les restrictions diverses et changeantes en matière de voyage dues à la pandémie actuelle, l'IQC a connu cette année beaucoup de succès dans le recrutement d'associés de recherche canadiens et étrangers, ainsi qu'au sein de la cohorte de postdoctorants et de doctorants récemment diplômés présents à l'IQC. Sur les 20 associés de recherche que compte actuellement l'IQC, 10 ont été embauchés en 2021-2022, notamment en Allemagne, en Ukraine, au Brésil et aux États-Unis. Trois autres de ces dix nouveaux associés de recherche sont d'anciens postdoctorants ou étudiants diplômés à l'IQC, ce qui témoigne de l'excellence des programmes d'études supérieures mis sur pied par l'IQC au cours des 20 dernières années. Les associés de recherche travaillent avec les chercheurs principaux de l'IQC à l'avancement de programmes et initiatives de recherche. En 2021-2022, l'IQC comptait 31 professeurs, 2 professeurs-chercheurs adjoints et 27 associés de recherche, dont les noms sont énumérés à l'annexe C, à la page 84.

Prix, distinctions et chaires de recherche

Du 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022, les chercheurs de l'IQC ont obtenu des fonds de recherche pour un montant total de 29 784 391 \$. Les sources de financement sont diversifiées et comprennent des chaires de recherche, ainsi que des subventions du gouvernement du Canada, de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI), de partenaires industriels et d'autres organismes.

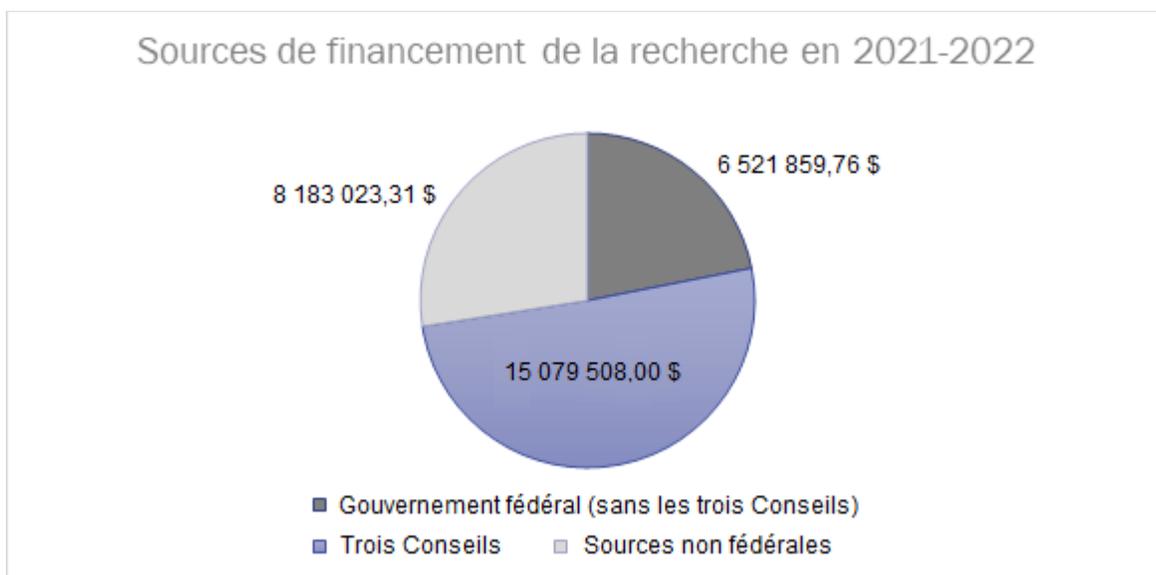


Figure 1 : Les sources non fédérales comprennent ce qui était autrefois dans la catégorie « Autres ».

Les professeurs de l'IQC mènent sur l'information quantique des recherches de fort calibre qui continuent d'avoir un impact à l'échelle mondiale. Non seulement leurs recherches, mais aussi les nombreux prix, bourses et subventions qu'ils reçoivent, témoignent de la qualité et des capacités de ces scientifiques. Dans un contexte de concurrence à l'échelle planétaire, ces distinctions s'ajoutent à l'excellente réputation de l'IQC et du Canada en informatique quantique. Voici un résumé des distinctions notables obtenues par des professeurs de l'IQC en 2021-2022 :

Professeur	Source de la distinction
Adam Wei Tsen	FERAC (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Bourse de nouveau chercheur CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis
Adrian Lupascu	Institut de technologie du Massachusetts CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) Université de la Californie du Sud Université de Waterloo – CRSNG – Fonds général de recherche
Alan Jamison	CRSNG – Subventions à la découverte – Supplément Tremplin vers la découverte (DGECR) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)



Christine Muschik	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Christopher Wilson	FCI – FEI (Fonds d’exploitation des infrastructures) CRSNG – Subventions à la découverte – Supplément MDN CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Crystal Senko	Chaire de recherche du Canada – CRSNG ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
David Cory	FERAC (Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
David Gosset	ICRA (Institut canadien de recherches avancées) IBM États-Unis ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Supplément d’accélération à la découverte (SAD) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Debbie Leung	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Dmitry Pushin	ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Guo-Xing Miao	FERAC (Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Bourse de nouveau chercheur
	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
John Watrous	ICRA (Institut canadien de recherches avancées) FERAC (Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Jon Yard	ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)



Jonathan Baugh	FERAC (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CNRC (Conseil national de recherches du Canada) – Autre CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) TPSGC (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada) – Autre
Joseph Emerson	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) Université d'Innsbruck
Kazi Rajibul Islam	ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Bourse de nouveau chercheur CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Kevin Resch	IRSC (Instituts de recherche en santé du Canada) – Bourse personnelle Chaire de recherche du Canada – CRSNG ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Kyung Soo Choi	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Matteo Mariantoni	FCI – FEI (Fonds d'exploitation des infrastructures) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Supplément d'accélération à la découverte (SAD) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Michael Reimer	FERAC (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Bourse de nouveau chercheur CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) TPSGC (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada) – Autre Single Quantum Systems inc.



Michal Bajcsy	BioGraph Sense inc. FERAC (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Bourse de nouveau chercheur
Michele Mosca	Crypto4A Technologies inc. ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) JPMorgan Chase and Co. Institut de technologie du Massachusetts Mitacs inc. CRSNG – Subventions Alliance
	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) CRSNG – INNOV (Programme <i>De l'idée à l'innovation</i>) TPSGC (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada) – Autre Qeynet inc. Groupe RHEA (Canada) Université de Montréal Université de Waterloo – CPI (Institut sur la cybersécurité et la vie privée)
Na Young Kim	FERAC (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada) ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Bourse de nouveau chercheur Ministère des Collèges et Universités (MCU) – Fonds pour la recherche en Ontario – Excellence en recherche CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) CRSNG – Subvention d'outils et d'instruments de recherche (OIR), catégorie 1
Norbert Lütkenhaus	Honeywell International inc. ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions Alliance CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) CRSNG – Divers

Raffi Budakian	ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) NSERC - Subvention d'outils et d'instruments de recherche (OIR), catégorie 1
Raymond Laflamme	Chaire de recherche du Canada – CRSNG ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) Keysight Technologies inc. CRSNG – Subventions Alliance CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) Institut Périmètre de physique théorique
Richard Cleve	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Shalev Ben-David	CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
Thomas Jennewein	Agence spatiale canadienne FCI – FEI (Fonds d'exploitation des infrastructures) FERAC (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada) Honeywell International inc. ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CNRC (Conseil national de recherches du Canada) – Autre CRSNG – Subventions Alliance CRSNG – Subventions à la découverte – Supplément MDN CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN) Qeynet inc.
Vern Paulsen	ISDE (Innovation, Sciences et Développement économique Canada) CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)
William Slofstra	Fondation Alfred-P-Sloan CRSNG – Subventions à la découverte – Individuelle (RGPIN)

Remarque : Cette liste n'est pas exhaustive.



L'IQC compte également les titulaires de chaire de recherche suivants :

- Crystal Senko, chaire de recherche du Canada (2020-2025)
- Raymond Laflamme, chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis (2017-2027)
- David Cory, lauréat d'une chaire d'excellence en recherche du Canada (2017)
- Debbie Leung, chaire de recherche de l'université (2015-2022)
- Kevin Resch, chaire de recherche du Canada (2013-2023)
- Raffi Budakian, chaire financée par un fonds de dotation de l'Institut de nanotechnologie de Waterloo (depuis 2014)
- Michele Mosca, chaire de recherche de l'université (2012-2022)
- Christine Muschik, chaire de recherche de l'université (2022-2027)
- William Slofstra, chaire de recherche de l'université (2022-2027)
- Raymond Laflamme, chaire de recherche du Canada (2002-2022)

Infrastructure — Centre Quantum-Nano Mike-et-Ophelia-Lazaridis

En date de mars 2022, le Centre Lazaridis comptait 16 laboratoires de recherche opérationnels, et un autre laboratoire était en cours de finition pour Alan Jamison.

Parmi les laboratoires de recherche en activité, mentionnons les suivants :

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

En plus de construire de nouveaux laboratoires, l'IQC continue d'améliorer la qualité de ses infrastructures existantes. À titre d'exemple, le laboratoire de vulgarisation de la physique quantique s'est vu ajouter un studio d'enregistrement virtuel pour intéresser les élèves et d'autres publics avec des présentations en direct, y compris des démonstrations visuelles et un projecteur panneau. Une imprimante 3D a en outre été installée pour appuyer la réalisation de trousseaux pédagogiques pour élèves et



professeurs. En 2021-2022, le laboratoire de vulgarisation de la physique quantique a élaboré des trousseaux de démonstration éducatives et abordables pour enseigner la distribution quantique de clés. Ces trousseaux ont été envoyés à 80 enseignants du secondaire au Canada et aux États-Unis. Le laboratoire a également pu organiser des expériences en direct visant à intéresser les participants à distance. Cette année, il a aussi enseigné des concepts-clés de la physique quantique à plus de 400 personnes.

Le laboratoire de vulgarisation de la physique quantique continue d'élaborer d'autres expériences qui peuvent s'effectuer avec des participants à distance. Il travaille à la mise au point d'une bibliothèque d'apprentissage en ligne appelée QuOLL pour *Quantum Online Learning Library*. Ces travaux contribuent à la création d'un milieu riche qui permettra au Canada de conserver dans l'avenir une place de choix en matière de recherche dans le domaine quantique.

Infrastructure — Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques (QNFCF)

L'Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques (en abrégé QNFCF pour *Quantum-Nano Fabrication and Characterization Facility*) prend en charge 3 laboratoires de la section de métrologie du Centre Quantum-Nano : le laboratoire TEM, le laboratoire FIB et le laboratoire de préparation d'échantillons secs. Ouverte aux chercheurs des milieux gouvernemental, industriel et universitaire, la QNFCF a enregistré au cours de la dernière année 31 259 heures d'utilisation d'équipement consignées par les usagers inscrits du laboratoire. Ce taux d'utilisation est comparable à celui de 2019-2020, alors que l'IQC avait fait état de 32 894 heures d'utilisation d'équipement par les usagers inscrits (-5 % par rapport à 2019-2020, alors que le nombre d'heures disponibles était en baisse d'environ 20 %), malgré le nombre restreint d'heures d'avril à septembre 2021. Les heures de laboratoire continuent de susciter beaucoup d'intérêt de la part d'entreprises et d'universités partout en Ontario et au Canada.

- Les périodes de fonctionnement des laboratoires sont revenues à 112 heures par semaine le 13 septembre 2021 (contre 60 heures par semaine d'avril à août).
- Le nombre total d'usagers a augmenté à 209 (il était de 195 en 2019-2020), dont 39 du secteur industriel et 8 à la fois des secteurs industriel et universitaire.
- Les laboratoires de la QNFCF ont été utilisés par 77 équipes de recherche (60 du milieu universitaire et 17 de l'industrie), ce qui témoigne d'une demande croissance de laboratoires de pointe au Canada.
- Les laboratoires de la QNFCF ont été utilisés par 23 organismes (6 du milieu universitaire et 17 de l'industrie), y compris des universités d'aussi loin que l'Île-du-Prince-Édouard et l'Alberta.
- Il y a eu plus de 1 000 heures de formation pratique à l'utilisation de l'équipement. Cette formation a un effet d'entraînement sur le nombre d'heures



de personnel hautement qualifié disponibles partout au Canada. (À titre d'exemple, la formation d'une équipe de l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard accroît les compétences disponibles dans cette région du pays.)

- Plus de 2 700 heures d'activités d'élaboration de procédés ont résulté en la création et la caractérisation de nombreux nouveaux procédés, et par plusieurs nouveaux rapports techniques, pour le bénéfice de tous les usagers.

L'IQC appuie le fonctionnement de la QNFCF en contribuant aux salaires du personnel, à l'acquisition d'équipement et à des contrats de service portant sur l'équipement. Au cours de l'exercice 2021-2022, la contribution de l'IQC au fonctionnement de la QNFCF s'est élevée à 323 500 \$.

Infrastructure — Centres d'avancement de la recherche (RAC)

Au 31 mars 2022, les bâtiments RAC1 et RAC2 abritaient les 7 laboratoires de recherche opérationnels suivants, dont 6 sont dirigés par un chercheur principal :

- Laboratoire de matériaux et dispositifs quantiques (QMAD)
- 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

Même si l'espace d'exploration quantique n'a pas de chercheur principal, cet impressionnant laboratoire sert aux étudiants inscrits à la nouvelle maîtrise en physique (technologie quantique) offerte à l'Université de Waterloo en partenariat avec l'IQC et TQT. Deux des trois cours de laboratoire obligatoires pour obtenir le diplôme en technologie quantique se tiennent dans cet espace, et ce sera aussi bientôt le cas du 3^e cours. Ce laboratoire donne aux étudiants et aux visiteurs un accès à des systèmes quantiques d'un véritable calibre de recherche, pour l'acquisition de connaissances et la réalisation d'expériences de laboratoire. Les élèves du secondaire et les étudiants de 1^{er} cycle universitaire qui participent à des programmes tels que QSYS (*Quantum School for Young Students* – École de physique quantique pour jeunes élèves) et USEQIP (*Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing* – École de 1^{er} cycle sur le traitement quantique expérimental de l'information) bénéficient d'une expérience pratique diversifiée avec de vrais systèmes. Dans l'avenir, un grand nombre d'experts de l'industrie et de visiteurs pourront y voir de véritables dispositifs quantiques en action.

Les bâtiments du RAC hébergent en outre de nombreux laboratoires partagés, des ateliers d'usinage et les laboratoires de chimie par voie humide dont les équipes de recherche et les usagers de la QNFCF ont besoin.



Collaborations et recherche de nouveaux partenariats

La communauté scientifique de l'IQC apprécie les occasions de collaboration, que ce soit avec d'autres équipes de recherche et universités ou avec des administrations gouvernementales, des organismes à but non lucratif et des entreprises privées. En 2021-2022, les professeurs de l'IQC ont fait état de 179 collaborations actives avec 134 organisations distinctes partout dans le monde. Voici quelques exemples de telles organisations, qui comprennent des universités, des instituts de recherche, des entreprises privées et des organismes gouvernementaux. L'annexe D, à la page 85, donne la liste complète de ces collaborations pour chaque membre du corps professoral de l'Institut.

- Qubic
- Honeywell
- Conseil national de recherches du Canada
- Agence spatiale canadienne
- Crypto4A Technologies
- Institut national d'optique, Canada
- Institut de technologie du Massachusetts
- CERN
- Réseau intégré sur la cybersécurité (SERENE-RISC)
- Université de la Colombie-Britannique
- DARPA
- Université Tsinghua
- Groupe RHEA Canada
- Institut Péricètre de physique théorique
- Université du Maryland
- Mitacs
- Laboratoires nationaux Sandia
- Jet Propulsion Laboratory
- Université Columbia
- Institut d'optique et d'information quantiques (IQOQI)
- Université McGill
- Institut quantique
- Centre de technologies quantiques
- Institut Weizmann des sciences
- Université du Michigan
- Université de Calgary

En plus de maintenir et d'intensifier les liens établis, les scientifiques et parties prenantes de l'IQC cherchent continuellement à conclure de nouveaux partenariats pour appuyer la réalisation des objectifs stratégiques de recherche de l'Institut. Cette année, l'IQC a eu des contacts et des discussions menant à des partenariats avec les organismes ci-après.

- Des rencontres entre l'IQC et le Bureau de la conseillère scientifique en chef à Ressources naturelles Canada (RNCAN) se sont poursuivies, portant notamment sur les applications possibles des recherches actuelles et futures de l'IQC dans le secteur des ressources naturelles. Comme ce secteur est bien placé pour être l'un des premiers à adopter des technologies quantiques, ces discussions ont permis d'identifier des domaines potentiels de collaboration. On s'attend à ce que ce



partenariat soit permanent à l'échelle des chercheurs comme des dirigeants, afin de faciliter une grande intégration de la recherche dans le domaine quantique. L'IQC a en outre organisé des visites guidées à l'intention de députés provinciaux et fédéraux, dont Jill Dunlop, ministre des Collèges et Universités de l'Ontario, en septembre 2021.

- À la réunion de mars de la Société américaine de physique, John Donohue, gestionnaire principal, vulgarisation scientifique, a présenté un exposé portant notamment sur le rôle de l'IQC dans le développement de la main-d'œuvre canadienne dans le domaine quantique par la diffusion des connaissances aux élèves et le soutien aux enseignants du secondaire. Depuis longtemps, l'École de physique quantique pour jeunes élèves (QSYS pour *Quantum School for Young Students*, autrefois QCSYS pour *Quantum Cryptography School for Young Students*) présente l'informatique quantique aux élèves du secondaire alors que ceux-ci prennent des décisions quant à leurs études collégiales et universitaires. L'IQC soutient également les enseignants de sciences au secondaire avec l'atelier Schrödinger, qui les initie au domaine quantique et leur fournit des activités pratiques et de laboratoire conçues pour présenter des sujets du domaine quantique au niveau secondaire. Cette double démarche visant à susciter l'intérêt pour des sujets avancés de physique quantique et soutenir l'enseignement dans ce domaine a créé des conditions telles que des dizaines de participants à la QSYS ont poursuivi des études supérieures en STGM à l'Université de Waterloo.
- En 2021 et au début de 2022, 2 directeurs généraux successifs de l'IQC ont participé à des rencontres avec Tata Consultancy Services et Foxconn à l'Université de Waterloo. Ces rencontres ont été des occasions de mettre en valeur les recherches et les talents de classe mondiale dans la région de Waterloo, et pourraient attirer des entreprises nationales et étrangères dans la région et au Canada. L'expérience montre que le réservoir de talents développé à Waterloo est tel que des entreprises comme Google ont jugé plus rentable de s'établir dans la région de Waterloo plutôt que de faire déménager du personnel hautement qualifié résidant dans la région. L'IQC continue d'attirer des entreprises de pointe dans la région.
- Les professeurs David Gosset et Michele Mosca ont donné des conseils pour la mise sur pied du programme Défi « Informatique quantique appliquée » du CNRC, dans le cadre du groupe de travail créé pour l'occasion. Des membres du corps professoral continuent de collaborer avec des agences gouvernementales à l'élaboration de la Stratégie quantique nationale et à la mise au point de mécanismes de financement du développement quantique au Canada.
- L'Agence de développement économique de Waterloo a organisé des visites guidées de l'IQC à l'intention de Volkswagen et du consul général du Japon, ce qui a permis de mettre en valeur dans les milieux industriels et à l'échelle internationale les travaux révolutionnaires effectués à l'IQC.

Objectif B

Offrir aux étudiants des occasions d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances, pour le bénéfice du Canada, afin de stimuler l'innovation et les investissements dans les activités de R-D grâce à la formation d'un personnel hautement qualifié.

Résultats visés : Soutenir les étudiants et leur offrir des occasions d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances.

Activités prévues

- Poursuivre la croissance des programmes d'études supérieures de l'IQC et y attirer les meilleurs talents.
- Soutenir le nouveau programme de M.Sc. en physique (technologie quantique), qui vise à procurer aux étudiants un apprentissage pratique des environnements quantiques, afin de les préparer à mener la croissance dans de nouvelles industries quantiques.
- Susciter au moins 400 demandes d'admission dans les programmes d'études supérieures de l'Université de Waterloo et de l'IQC.
- Intensifier les liens avec les programmes de 1^{er} cycle d'universités ontariennes et canadiennes.
- Continuer d'organiser des conférences, ateliers, séminaires et cours ciblés et opportuns, en fonction de la levée des restrictions logistiques liées à la pandémie.
- Tenir jusqu'à 10 ateliers et séminaires virtuels.
- Organiser jusqu'à 10 ateliers et conférences en partenariat avec des organismes canadiens et étrangers.

Recrutement de postdoctorants

Les postes de boursier postdoctoral donnent à de jeunes scientifiques de précieuses occasions de bénéficier d'un mentorat supplémentaire, de publier des travaux et d'acquérir de l'expérience en recherche et en enseignement. En 2021-2022, l'IQC a recruté 12 nouveaux postdoctorants, dont 2 ont récemment complété leur doctorat à l'IQC. Cette capacité de recrutement interne est due à la force des programmes d'études supérieures de l'IQC, qui permet à l'Institut de poursuivre des recherches de classe mondiale et d'offrir à ses récents diplômés la possibilité d'entreprendre la prochaine étape de leur carrière, malgré les importantes restrictions en matière de voyages.

Au cours de l'année écoulée, l'IQC a eu en tout à son emploi 70 postdoctorants, dont 22 femmes (31 %). Comme le souligne le tableau ci-après, les nouvelles recrues sont venues d'institutions canadiennes et étrangères de premier plan.



Amérique du Nord	Outre-mer
Université de Montréal, Canada	Université de Strathclyde, Royaume-Uni
Université de Guelph, Canada	Centre de technologies quantiques Université nationale de Singapour
Université de Waterloo, Canada	Institut fédéral suisse de technologie (ETH) de Zurich, Suisse
Institut de technologie du Massachusetts, États-Unis	Institut Kavli de nanosciences, Université de technologie de Delft, Pays-Bas
	Université de Birmingham, Royaume-Uni
	Université Tsinghua, Chine

L'annexe E, à la page 90, donne la liste complète des postdoctorants à l'IQC.

Depuis 2015, 16 anciens doctorants de l'IQC ont obtenu des bourses postdoctorales. Ils forment un groupe de jeunes chercheurs qui se sont engagés à faire progresser leurs travaux en information quantique à l'IQC. En plus d'attirer des candidats hautement qualifiés, les bourses postdoctorales de l'IQC constituent une méthode éprouvée pour faire avancer la recherche dans le domaine quantique d'un bout à l'autre du Canada : d'anciens postdoctorants à l'IQC occupent maintenant des postes de professeurs à l'Université Mount Allison, à l'Université de Sherbrooke, à l'Université McGill, à l'Université d'Ottawa, à l'Université Carleton, à l'Université Métropolitaine de Toronto et à l'Université de Waterloo, pour ne donner que quelques exemples.

Recrutement d'étudiants diplômés

Au cours de la dernière année, l'IQC a accueilli 63 nouveaux étudiants diplômés sur un total de 511 candidatures, ce qui porte à 208 le nombre total d'étudiants à la maîtrise et au doctorat (respectivement 88 et 120). La croissance des programmes d'études supérieures en 2021-2022 constitue un retour à la normale pour l'IQC; le creux de 197 étudiants en 2020-2021 (contre 203 l'année précédente) était une anomalie due à l'incertitude au début de la pandémie de COVID-19. L'IQC reçoit des candidatures d'étudiants de certaines des institutions les plus reconnues partout au Canada et dans le monde entier. Le tableau ci-dessous donne des exemples d'institutions de provenance de nos candidats, y compris de 8 des 10 provinces canadiennes.

Canada	Outre-mer	États-Unis
Université Concordia	Université de technologie de Delft	Université Dartmouth College
Université du Manitoba	Université Tsinghua	Université Stanford
Université de Windsor	Université fédérale de São Carlos	Institut de technologie du Massachusetts
Université Mount Allison	Institut indien de technologie de Delhi	Institut de technologie de la Californie
Université de la Colombie- Britannique	Collège universitaire de Londres	Université Yale
	École Normale Supérieure de Paris- Saclay	

L'annexe F, à la page 91, donne la liste complète des étudiants diplômés actuellement inscrits à l'IQC.

Bourses accordées à des étudiants diplômés

Les esprits les meilleurs et les plus brillants font des études et des recherches à l'IQC, se méritant des prix et des bourses pour leurs travaux. Non seulement ces distinctions procurent aux étudiants le financement nécessaire pour qu'ils se consacrent à leurs études, mais elles témoignent aussi de leur excellence en recherche. Au cours de la dernière année, 193 étudiants de l'IQC ont obtenu en tout 560 bourses.

Sur les 193 étudiants de l'IQC qui ont obtenu des bourses, 45 (23 %) étaient des femmes et 12 autres (6%) n'avaient pas indiqué leur genre. Au total, 93 % de tous les étudiants diplômés inscrits à l'IQC ont obtenu des bourses, dont 96 % des femmes et 100 % de ceux qui n'ont pas indiqué leur genre. Ces chiffres témoignent de l'excellence des étudiants de l'IQC. De plus, si l'on considère l'ensemble de la population étudiante, l'IQC a réalisé des progrès en vue de la parité des genres. Le nombre de femmes et d'étudiants qui n'ont pas indiqué leur genre est passé de 47 en 2020-2021 à 59 en 2021-2022. Cela constitue une augmentation de 5 % vers la parité des genres et rapproche l'IQC de son objectif de réussir le Défi 50-30 d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada.

Voici quelques-unes des bourses majeures reçues par nos étudiants à la maîtrise et au doctorat :

- 9 bourses Mike-et-Ophelia-Lazaridis
- 1 bourse d'admission de l'IQC
- 60 bourses pour étudiants étrangers – Doctorat
- 13 bourses d'excellence pour étudiants étrangers – Maîtrise
- 1 bourse d'excellence de l'IQC
- 1 bourse d'études supérieures Marie-Curie
- 2 bourses d'études supérieures Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Doctorat
- 7 bourses d'études supérieures Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Maîtrise
- 5 bourses d'études supérieures du CRSNG – Doctorat
- 3 bourses d'études supérieures du Canada Vanier du CRSNG
- 19 bourses d'études supérieures du recteur
- 1 bourse d'études supérieures Raymond-Laflamme-et-Janice-Gregson pour les femmes en informatique quantique
- 3 bourses d'études supérieures de l'Ontario
- 2 bourses d'études supérieures Reine-Elizabeth-II en science et technologie



Recrutement d'étudiants de 1^{er} cycle

L'IQC offre aux étudiants de 1^{er} cycle universitaire de nombreuses occasions d'être en contact avec la recherche. En même temps qu'ils posent leur candidature à l'USEQIP (*Undergraduate School for Experimental Quantum Processing* – École de 1^{er} cycle sur le traitement quantique expérimental de l'information), ils peuvent aussi solliciter un stage de recherche qui se déroulera après l'école d'été. Ils peuvent également postuler d'entrée de jeu un stage de recherche.

Les incertitudes concernant les voyages, les séjours et l'accès aux bâtiments en raison de la COVID-19 ont fait en sorte que l'USEQIP a eu lieu en ligne en mai 2021, et le programme de stages de recherche de 1^{er} cycle s'est poursuivi à distance. La pandémie, ainsi que les diverses restrictions concernant les voyages et l'emploi en Ontario de même qu'ailleurs dans le monde ont entraîné des changements dans les liens entre l'IQC et les étudiants de 1^{er} cycle. Par exemple, le nombre total d'assistants de recherche de 1^{er} cycle a chuté à 45 en 2021-2022 (contre 57 l'année précédente), mais le nombre de stagiaires coop à l'IQC pour la même période a augmenté à 22, dont 15 étaient employés par des professeurs dans des fonctions de recherche. Grâce à l'existence d'un solide programme coopératif à l'Université de Waterloo, la transition s'est faite de façon harmonieuse, et il n'y a eu au bout du compte aucun changement pour les professeurs de l'IQC en ce qui concerne la participation d'étudiants de 1^{er} cycle. D'autre part, comme depuis plusieurs années, l'IQC a continué d'offrir à des étudiants coop des postes en vulgarisation scientifique, en marketing et en conception de sites Web.

Des programmes tels que l'USEQIP incitent d'anciens participants à continuer leur formation dans leur institution d'appartenance, puis à revenir à l'IQC pour y poursuivre leurs études. Depuis la création de l'USEQIP en 2009, des dizaines d'anciens participants sont revenus à l'IQC pour y faire des études supérieures. Les participants à l'USEQIP font souvent remarquer que les études supérieures semblent plus accessibles après la participation au programme, et qu'ils sont particulièrement attirés par l'IQC :

« Merci beaucoup à toutes les personnes impliquées dans l'organisation du programme, que j'ai beaucoup aimé et qui m'a conforté dans mes projets de carrière. Bravo! » [traduction]

« L'USEQIP m'a beaucoup appris sur le traitement de l'information quantique et m'a aussi beaucoup révélé sur la vie universitaire – ce qui sera très utile pour ma carrière à venir, peu importe ce qu'elle sera! » [traduction]

« Je commence un stage de recherche sur le refroidissement par laser et les atomes ultrafroids. J'espère faire partie de l'équipe de M. Jamison plus tard au cours de mes études. » [traduction]

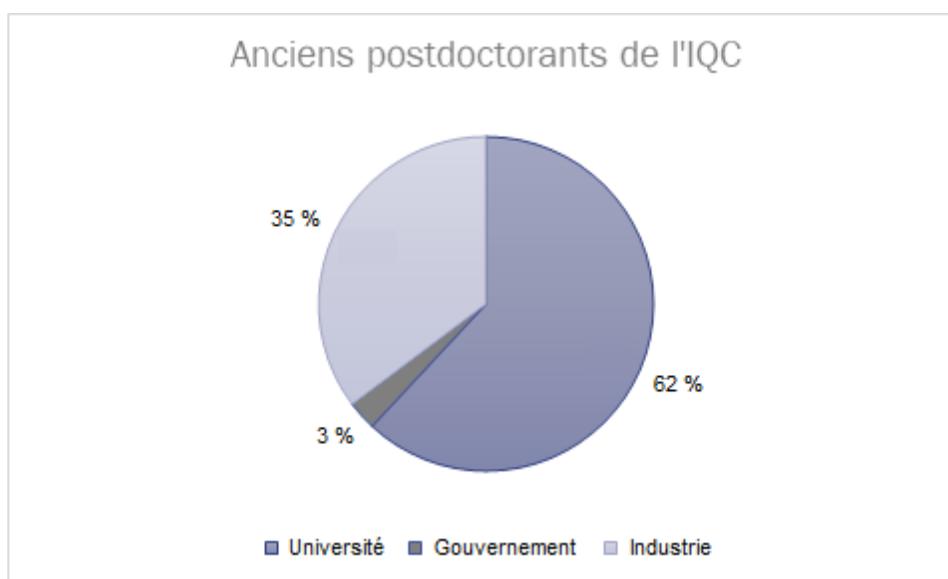
Anciens de l'IQC : Former la main-d'œuvre du secteur quantique

Après avoir quitté le campus, les anciens étudiants et postdoctorants de l'IQC ont une grande influence dans les secteurs universitaire, industriel et gouvernemental partout dans le monde. Ils contribuent au progrès du monde quantique dans des secteurs tels

que les opérations bancaires, les communications et la technologie. De plus, ils inspirent de futures générations d'innovateurs par leur passion, leur action et leur ingéniosité.

Anciens postdoctorants

Après avoir quitté le milieu universitaire, les anciens postdoctorants de l'IQC sont considérés par leurs pairs comme des modèles, des visionnaires et des chefs de file de l'industrie quantique. Nos anciens ont une influence dans les secteurs universitaire, industriel et gouvernemental partout dans le monde. Le graphique ci-après résume où les anciens postdoctorants de l'IQC œuvraient au 31 mars 2022 :



Profils d'anciens postdoctorants

Zhengfeng Ji – Postdoctorant de 2011 à 2016

Maintenant professeur au Département de science et technologie de l'informatique à l'Université Tsinghua, Zhengfeng Ji est depuis une dizaine d'années l'auteur d'importantes contributions à la théorie de la complexité quantique. Son intérêt pour ce domaine est né alors qu'il était postdoctorant à l'IQC. Sous l'influence de ses mentors Richard Cleve et John Watrous, il a commencé à travailler sur les jeux non locaux, qui tiennent une place importante dans la théorie de la complexité quantique.

Les contributions de M. Ji ont surtout porté sur les preuves interactives à démonstrateurs multiples (MIP*). Avec ses collaborateurs, M. Ji a produit une caractérisation complète de la complexité des MIP*, qui équivaut à celle du problème de l'arrêt. « Ce résultat constitue une surprise en théorie de la complexité quantique, dit M. Ji, et il a des liens profonds avec l'informatique, les mathématiques et la physique. » [traduction]



Zhengfeng Ji affirme que son stage postdoctoral à l'IQC a constitué une période cruciale dans sa carrière. Il lui a permis de développer son goût de la recherche et sa persévérance, qui ont contribué à sa réussite professionnelle. Maintenant professeur à l'Université Tsinghua, il reste en contact avec l'IQC à titre de membre affilié et chercheur collaborateur. Il a récemment participé à la rédaction d'articles distincts avec Debbie Leung et John Watrous, professeurs à l'IQC.

Fang Song – Postdoctorant de 2013 à 2016

Fang Song a élaboré de nouvelles primitives cryptographiques quantiques, travaillant notamment sur les systèmes de preuve à divulgation nulle de connaissance et sur les états quantiques pseudo-aléatoires. Il a aussi conçu des algorithmes quantiques efficaces qui orientent le développement de la prochaine génération de systèmes à l'épreuve des attaques quantiques.

M. Song affirme : « L'IQC m'a aidé à acquérir une vision plus large des directions possibles de mes recherches. » [traduction] L'étendue des recherches menées à l'IQC sur le traitement de l'information quantique, ainsi que les données de première main fournies par les expérimentateurs, ont contribué à parfaire les fondements théoriques de ses travaux et à maintenir ses liens avec des problèmes concrets.

Ses études de doctorat à l'Université d'État de Pennsylvanie l'ont mis en contact avec la recherche de haut niveau et l'ont amené à choisir pour son stage postdoctoral l'IQC où, selon ses dires, des chercheurs de premier plan aux antécédents très diversifiés se rassemblent et collaborent de manière organique. Maintenant professeur au Département d'informatique de l'Université d'État de Portland, M. Song étudie comment l'informatique quantique modifie de façon rigoureuse le paysage de la cryptographie et de la théorie de la complexité.

Pour ses recherches, Fang Song maintient des liens avec des membres actuels et anciens de l'IQC. Ces liens sont évidents dans l'article intitulé [Zero-Knowledge Proof Systems for QMA](#) (systèmes de preuve à divulgation nulle de connaissance pour QMA), qu'il a écrit conjointement avec Anne Broadbent (ancienne postdoctorante et maintenant membre affiliée à l'IQC), Zhengfeng Ji (ancien postdoctorant et maintenant membre affilié à l'IQC) et John Watrous (professeur à l'IQC).

Jean-François Biasse – Postdoctorant en 2014 et 2015

Jean-François Biasse est professeur de mathématiques et directeur du Centre de recherche en cryptographie à l'Université de Floride du Sud. Ses recherches actuelles portent sur la transition imminente à de nouvelles primitives cryptographiques pour clés publiques.

Après un stage postdoctoral centré sur la cryptographie, M. Biasse a choisi l'IQC parce qu'il voulait « travailler avec des experts en cryptographie qui se spécialisaient en CPQ (cryptographie postquantique) » [traduction]. Travaillant avec M. Mosca, il a pu contribuer de manière importante à la conception d'algorithmes quantiques peu après son arrivée à l'IQC.

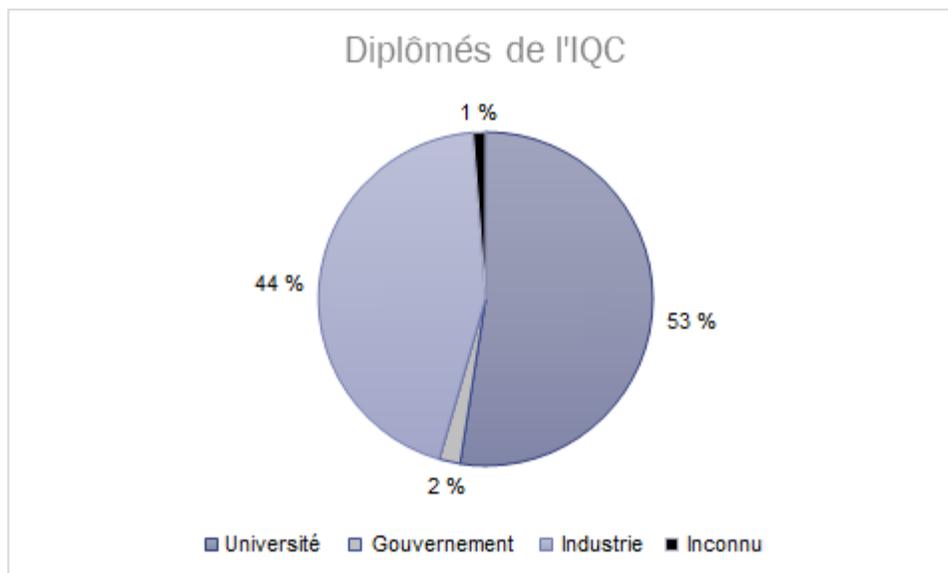


M. Biasse décrit ainsi l'usage qu'il fait des compétences acquises à l'IQC : « Je mets au point des algorithmes quantiques qui servent à la conception et à l'analyse de systèmes de cryptographie à l'épreuve d'attaques par des adversaires quantiques. L'IQC a vraiment eu un rôle déterminant dans mon parcours universitaire, parce qu'il m'a aidé à acquérir de nouvelles compétences en informatique quantique qui sont essentielles pour mon programme de recherche. » [traduction]

Jean-François Biasse continue de travailler avec des postdoctorants actuels et anciens de l'IQC, surtout en cryptographie. Il a publié des articles avec Xavier Bonnetain, Ph.D., nouveau postdoctorant à l'IQC, aussi récemment qu'en 2020, et avec Fang Song, Ph.D., ancien postdoctorant à l'IQC, en 2019.

Anciens étudiants diplômés

Cette année, l'IQC a remis avec fierté 31 diplômes de maîtrise et 14 doctorats, ce qui porte à 352 le nombre total de diplômés de l'IQC. Ces chercheurs occupent des postes variés, dans des universités, des entreprises et des administrations publiques, en Ontario et dans le monde entier. Au 31 mars 2022, 34 diplômés de l'IQC, dont 6 femmes, travaillaient dans le domaine de l'information quantique au Canada, et 18 autres étaient postdoctorants dans des universités canadiennes. Le graphique ci-après montre les secteurs où les diplômés de l'IQC sont allés après leurs études.



Profils d'anciens étudiants diplômés

Phil Kaye

(M.Math. en combinatoire et optimisation, Ph.D. en informatique)

Phil Kaye incarne le caractère interdisciplinaire de la recherche dans le domaine quantique. Avant d'obtenir son doctorat en informatique à l'IQC en 2007, il a fait un 1^{er} cycle en génie de la conception de systèmes, puis une maîtrise en mathématiques. Il dit que sa formation à l'IQC lui a donné les bases scientifiques et un solide réseau professionnel qui lui ont permis de mener une carrière d'expert.

Pendant toute sa carrière, M. Kaye a contribué à façonner les politiques qui ont permis à l'IQC et à des universités canadiennes de demeurer à l'avant-garde du traitement de l'information quantique. Il a publié un manuel de cours avec Raymond Laflamme et Michele Mosca, participé à la fondation du consortium Quantum Industry Canada et joué un rôle déterminant dans l'élaboration de la Stratégie quantique nationale du Canada.

À l'heure actuelle, Phil Kaye dirige le programme Défi « Informatique quantique appliquée » du Conseil national de recherches du Canada, premier programme du genre consacré à l'informatique quantique appliquée. Ce programme soutient des applications et logiciels quantiques au moyen de subventions et de contributions financières.

« L'effet de mon travail est d'appuyer l'écosystème quantique par le développement de programmes, l'engagement des parties prenantes et le soutien de diverses initiatives du gouvernement du Canada dans le domaine, dit-il. Les années que j'ai passées à l'IQC m'ont en outre permis de tisser un solide réseau de contacts professionnels avec des chefs de file du domaine quantique au Canada, et ces liens sont très importants dans mon poste actuel. » [traduction]

Stacey Jeffery (M.Math. en combinatoire et optimisation, Ph.D. en informatique – Information quantique)

Stacey Jeffery a publié des articles sur le cryptage homomorphe, résolu un problème ouvert depuis 15 ans sur les algorithmes de marche quantique et fondé un réseau de femmes en informatique quantique aux Pays-Bas.

Son parcours de recherche dans le domaine quantique a commencé à l'IQC. « Pendant mes études de 1^{er} cycle en informatique à l'Université de Waterloo, dit-elle, j'ai suivi un cours en informatique quantique, ce qui m'a amenée à être assistante de recherche à l'IQC sous la direction de Michele Mosca. Je suppose que j'ai aimé cela, puisque j'y suis resté jusqu'à l'obtention d'un doctorat dans le domaine. »

Sa passion pour l'informatique quantique l'a amenée de Waterloo à Pasadena (Caltech), puis à son poste actuel de chercheuse principale au CWI (*Centrum Wiskunde & Informatica*) à Amsterdam, où elle poursuit des recherches théoriques sur les algorithmes quantiques, dans le but de créer des outils qui faciliteront la conception de futurs algorithmes quantiques.



Stacey Jeffery reconnaît que la communauté de l'IQC a joué un rôle important dans ses succès : « L'IQC avait une communauté étudiante fantastique, de qui j'ai beaucoup appris, dit-elle. Il y avait toujours des visiteurs d'autres instituts, ainsi que de nombreux ateliers ou conférences organisés à l'IQC. Tout cela, ainsi qu'une généreuse allocation de déplacement pour assister à des conférences et rendre visite à d'autres équipes, m'a permis de bâtir avant la fin de mon doctorat un solide réseau qui a joué un rôle crucial dans ma carrière. » [traduction]

Srinivasan Arunachalam

(M.Math. en combinatoire et optimisation – Information quantique)

Srinivasan Arunachalam a complété une maîtrise en combinatoire et optimisation (Information quantique) à l'IQC en 2014. Depuis lors, il a obtenu un doctorat au CWI (*Centrum Wiskunde & Informatica*) à Amsterdam, puis a fait un postdoctorat au Centre de physique théorique du MIT. Il est actuellement au Centre de recherche T.J.-Watson d'IBM, où il se concentre sur la recherche et l'élaboration d'algorithmes quantiques.

M. Arunachalam a déclaré : « L'IQC était mon premier choix pour étudier l'informatique quantique, à cause de son programme de stages et d'études supérieures. » [traduction] Il ajoute que les cours d'informatique quantique qu'il a suivis et les recherches qu'il a effectuées pendant qu'il était à l'IQC ont joué un rôle important dans ses travaux de recherche actuels. M. Arunachalam avait également fait un stage de 3 mois à l'IQC avec Michele Mosca et Anne Broadbent avant de déménager à Waterloo.

Ses travaux actuels au Centre de recherche T.J.-Watson d'IBM portent sur les algorithmes quantiques et la théorie de l'apprentissage. Srinivasan Arunachalam a en outre continué de travailler avec des postdoctorants à l'IQC, faisant une visite à Waterloo en 2019 et publiant des articles avec d'anciens membres de l'IQC en 2019 (Nathan Wiebe) et en 2020 (Robin Kothari, Andrew Childs, Alexander Belovs et Anurag Anshu).

Un nouveau programme de M.Sc. en physique (technologie quantique)

Le programme de M.Sc. en physique avec spécialisation en technologie quantique en est à sa première année d'existence. Offert par le Département de physique et d'astronomie en partenariat avec l'IQC et TQT, ce programme de 12 mois offre aux étudiants une rare occasion d'acquérir une expertise en théorie et expérimentation dans le domaine de l'information quantique.

Une composante qui distingue ce programme est l'accès à l'espace d'exploration quantique (QES pour *Quantum Explorations Space*), espace réservé au soutien aux activités de formation dans le domaine quantique. Le QES montre des technologies quantiques dans un environnement interactif. Trois cours de laboratoire spécialisés qui se tiennent dans le QES procurent aux étudiants à la maîtrise en technologie quantique un apprentissage pratique de l'utilisation de dispositifs quantiques de pointe :

- [Laboratoire sur le contrôle de la technologie quantique](#)
- [Laboratoire sur la technologie quantique photonique](#)

- [Laboratoire sur la technologie quantique à basse température et sur la nanofabrication](#)

Grâce à ces activités de laboratoire, les étudiants acquièrent des compétences et de l'expérience dans le domaine, tout en améliorant leurs connaissances de la théorie sous-jacente et du travail expérimental. Les étudiants actuels apprécient l'intégration des connaissances et de la pratique dans une introduction réaliste au domaine de l'information quantique.

En plus des cours en laboratoire, les étudiants acquièrent une solide base théorique en suivant des cours du tronc commun en informatique quantique, auxquels s'ajoutent des cours au choix offerts dans le cadre du programme d'études supérieures en informatique quantique le plus complet au monde. Les étudiants peuvent aussi profiter d'occasions de tisser des liens avec un grand nombre de chercheurs, d'entreprises établies et de jeunes pousses à l'avant-garde de la technologie quantique.

Les diplômés de ce programme seront bien préparés à des carrières dans l'industrie quantique ou à des études supérieures plus poussées.

Intensification des liens

Les efforts de recrutement d'étudiants diplômés menés par l'IQC ont continué de porter des fruits, avec 511 candidats distincts à des programmes d'études supérieures de l'IQC en 2021-2022. Le personnel de l'IQC a rencontré des étudiants lors d'activités telles que PuMP+, sous les auspices de l'organisme Prospective Medical Professionals, la Conférence canadienne des étudiantes de 1^{er} cycle en physique (CCUWiP), et des salons de recrutement organisés par le programme WISE (*Women in Science and Engineering*) de l'Université de Toronto, par l'Université McGill et par l'Université de Waterloo. Le personnel de l'IQC s'est également efforcé de créer des liens entre des étudiants et l'industrie, en participant à des activités telles que le salon des étudiants diplômés et des entreprises de la Conférence canadienne des étudiants de 1^{er} cycle en physique (CUPC), de même qu'en faisant des exposés sur la diffusion des connaissances et l'éducation pour les comités consultatifs techniques du consortium Quantum Economic Development (QED-C TAC).

Pendant la pandémie, des chercheurs de l'IQC ont continué de faire de nombreux exposés en format virtuel partout au Canada et dans le monde. En voici quelques exemples.

- Cinq professeurs de l'IQC ont participé aux Journées quantiques en février 2022, avec une présence lors des 2 premières journées de la conférence de 3 jours : Michael Reimer, Matteo Mariani, Michal Bajcsy, Na Young Kim et Raymond Laflamme.
- Des professeurs de l'IQC ont également fait des exposés dans le cadre de diverses conférences telles que QIP 2022, le congrès de l'ACP, Qcrypt 2021 et le sommet de l'IEEE sur l'informatique quantique.



Pour recruter et conserver des scientifiques de talent, il faut entre autres créer un milieu de recherche solide et stimulant. À titre d'institut de premier plan, l'IQC est fier de participer à de nombreuses conférences, ateliers et séminaires nationaux et internationaux animés par et pour des chercheurs. Il s'agit là d'une priorité importante, car les conférences et exposés favorisent la collaboration et les échanges d'idées.

Même si la pandémie a eu des répercussions importantes sur les activités de l'IQC à ce chapitre, il vaut la peine de mentionner que le passage à des présentations en ligne a permis de mesurer le grand intérêt pour le domaine quantique, et les résultats ont été encourageants. Certains engagements ont dû être annulés, mais d'autres ont été adaptés en format virtuel et ont rejoint un public sensiblement plus nombreux, grâce à la levée des obstacles géographiques et financiers à la participation.

Ateliers

Atelier Schrödinger, du 30 novembre au 5 décembre

À la fin novembre et au début décembre, l'IQC a tenu son atelier annuel Schrödinger pour enseignants. Ceux-ci ont assisté à des exposés en mode virtuel sur les fondements de la physique quantique et ont étudié des manières d'intégrer la technologie quantique dans leur programme d'enseignement. Cet atelier a également permis aux participants de se renseigner sur les progrès récents dans le domaine.

En 2020-2021, l'atelier Schrödinger a eu lieu en ligne et a connu une importante hausse de participation. En 2019-2020, l'IQC avait pu accueillir 39 participants en personne. En 2020-2021, l'IQC a accueilli 130 personnes, dont 112 enseignants très intéressés² par le programme. Cela représente une augmentation de près de 300 % de la participation — ce qui ne serait pas possible en personne à l'heure actuelle. La demande s'est maintenue en 2021-2022, alors que l'IQC a accueilli 132 participants, dont 109 étaient très intéressés par le programme. Certains venaient d'aussi loin que la Virginie. Ces nombres stables et élevés témoignent d'une demande accrue pour des ateliers intéressants dans le domaine quantique. L'IQC continue d'évaluer de nouveaux moyens d'appuyer les enseignants et les élèves du secondaire

Conférences majeures

L'IQC maintient son engagement à organiser des conférences à Waterloo et planifie activement des conférences pour le moment où elles pourront se tenir en toute sécurité avec une grande variété de participants. Les restrictions pour l'Ontario ont été levées à compter du 31 mars 2022, et les restrictions restantes à l'Université de Waterloo ont aussi été levées en mai 2022. L'IQC recommencera donc à organiser des conférences en personnes en juin 2022.

² Ils ont assisté à au moins 2/3 des séances, et à au moins 90 % du temps d'instructeur lors de chaque séance.



Séminaires et colloques

Avec de fréquentes activités, le calendrier de séminaires et colloques de l'IQC maintient l'intérêt des chercheurs de l'IQC et des scientifiques invités. Au cours de la dernière année, l'IQC a organisé 39 séminaires, dont 14 ont été animés par et pour des étudiants, et 3 colloques. La série de séminaires d'étudiants lancée en 2019-2020 continue de créer des liens entre les membres de l'IQC, en permettant aux étudiants de faire connaître les résultats de leurs recherches actuelles, de prendre connaissance des travaux menés en dehors de leur domaine immédiat de recherche, et d'avoir une occasion de perfectionner leurs techniques de présentation. Le nombre total de séminaires a légèrement augmenté par rapport à 2020-2021, mais est demeuré inférieur à ce qu'il était les années précédentes, en raison des annulations et reports liés à la COVID-19.

Ces séminaires (à l'exception des séminaires d'étudiants) et colloques ont été téléversés dans le canal YouTube de l'IQC, où ils ont fait l'objet de plus de 5 000 accès et plus de 500 heures de visionnement, ce qui constitue un ajout significatif à la participation en personne. En raison de l'intérêt manifesté pour ces activités, l'IQC continuera de téléverser ces séances dans l'avenir.

Conférences et ateliers parrainés

Chaque année, l'IQC s'engage à parrainer des conférences et ateliers tenus à l'extérieur de ses murs, afin de susciter des occasions de collaboration au sein d'un réseau mondial de chercheurs. Avec la levée des restrictions à divers endroits tout au long de l'année, l'IQC a été en mesure de doubler le nombre d'activités parrainées par rapport à 2020-2021. L'IQC a parrainé les 8 activités externes énumérées dans le tableau ci-après, et maintient son engagement à soutenir des activités pertinentes à mesure que les possibilités augmenteront :

Mois	Activité	Lieu
Mai	Festival en ligne <i>Une Pinte de Science Canada</i>	Mode virtuel
Mai	49 ^e symposium annuel canadien sur les opérateurs (COSy)	Mode virtuel
Juin	18 ^e conférence internationale sur la physique et la logique quantiques (Gdansk et en ligne)	Pologne et mode virtuel
Novembre	Conférence canadienne des étudiants de 1 ^{er} cycle en physique (CUPC)	Mode virtuel
Novembre	Hackathon de physique de l'Université McGill	Mode virtuel
Février	Journées quantiques	Mode virtuel
Février	Qhack 2022	Mode virtuel
Mars	Conférence sur le traitement de l'information quantique (QIP)	Californie et mode virtuel

Objectif C

Faire du Canada la destination de choix pour la recherche sur les technologies quantiques et y attirer les meilleurs au monde, en mettant sur pied des partenariats avec la communauté internationale de l'information quantique, et en favorisant à l'échelle mondiale l'excellence en science et technologie de l'information quantique.

Résultats visés : Positionner le Canada comme destination de recherche sur les technologies quantiques.

Activités prévues

- Promouvoir le Canada à l'échelle internationale comme lieu de recherches sur les technologies quantiques, en participant à des initiatives mondiales dans le domaine (conférences, exposés, séminaires et autres activités).
- Agir comme catalyseur de collaborations entre scientifiques de l'information quantique d'un bout à l'autre du Canada et dans le monde entier.
- Promouvoir la collaboration par la participation à des conférences nationales et internationales.
- Produire des publications de haut calibre, reconnues à l'échelle internationale, dont les auteurs comprennent des chercheurs de l'IQC.
- Organiser 3 conférences comportant une participation pluridisciplinaire.
- Poursuivre le programme de visites de scientifiques et d'universitaires étrangers.

Promouvoir le Canada à l'échelle internationale comme lieu de recherches sur les technologies quantiques, en participant à des initiatives mondiales dans le domaine.

Le Canada est reconnu dans le monde entier comme un chef de file de la recherche en science et technologie de l'information quantique. Chaque année, des membres de l'IQC — professeurs, postdoctorants et étudiants diplômés — représentent le Canada sur la scène internationale, mettant en évidence le talent et les capacités que possède le pays. Plusieurs réalisations en la matière sont soulignées ci-après et dans les annexes.

La communauté élargie de l'IQC a participé à d'autres initiatives, dont la compétition Canada–Royaume-Uni de technologies quantiques, où les professeurs de l'IQC sont à l'origine de 3 projets gagnants sur 8. Cette compétition résulte d'un partenariat entre les 2 pays mis sur pied par l'industrie pour développer des technologies quantiques. Voici deux des projets gagnants de l'IQC.



Projet Innovate UK–Canada pour mesurer et contourner le bruit et les erreurs dans des appareils quantiques disponibles à court terme — Chercheur principal à l'IQC : Raymond Laflamme

La jeune pousse britannique [Phasecraft](#) a lancé un nouveau projet financé par Innovate UK dans le but de diminuer le bruit et les erreurs dans des appareils quantiques disponibles à court terme.

Phasecraft a obtenu une subvention de UKRI, l'agence du Royaume-Uni pour l'innovation, avec une équipe d'experts universitaires et industriels de réputation internationale appartenant à l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo et à l'Institut Périphère de physique théorique au Canada, ainsi qu'au Collège universitaire de Londres au Royaume-Uni. Ces 3 institutions sont parmi les chefs de file mondiaux de la recherche en informatique quantique, notamment pour ce qui est de la correction des erreurs quantiques et du calcul quantique à l'épreuve des défaillances. La jeune pousse canadienne Quantum Benchmark (maintenant Keysight Technologies) fournira son expertise de même que l'accès à son logiciel de pointe pour le diagnostic et la suppression d'erreurs, afin d'améliorer et de valider le rendement du matériel servant à des applications de calcul quantique.

Ce projet en plusieurs étapes consistera :

1. à mesurer le bruit et à diagnostiquer les principales erreurs dans des appareils quantiques;
2. à élaborer de nouveaux algorithmes capables de surmonter les erreurs et pouvant être mis en œuvre dans des appareils quantiques bruyants de taille intermédiaire qui ne peuvent pas être insensibles aux défaillances;
3. à intégrer le diagnostic, la suppression et l'atténuation des erreurs dans la conception des algorithmes, autour de modèles exacts des appareils, avec des mécanismes d'atténuation et de suppression des erreurs adaptés à des applications et algorithmes pertinents pour l'industrie;
4. à mettre au point une boucle de rétroaction visant à améliorer la modélisation et l'atténuation des erreurs, la conception des algorithmes et leur mise en œuvre dans des appareils;
5. à faire la démonstration et la validation des performances pour des cas d'utilisation dans des appareils quantiques disponibles à court terme.

Partenariat de recherche Royaume-Uni–Canada en vue de l'expansion d'un réseau quantique mondial — Chercheur principal à l'IQC : Thomas Jennewein

Le réseau Internet quantique permettra des communications quantiques sûres à l'échelle mondiale. Un nouveau projet de collaboration entre le Royaume-Uni et le Canada, qui a obtenu des fonds du [pôle britannique de communications quantiques](#), établira un lien satellitaire essentiel pour des communications quantiques de part et d'autre de l'Atlantique.



La distribution quantique de clés (DQC) est une méthode de distribution de clés de cryptage qui résiste aux intrusions ou au décryptage. La DQC est en cours de mise en place dans le monde entier dans les réseaux terrestres de fibres optiques. Dans le cas de distances intercontinentales, la DQC devra dépendre de satellites, qui échangent des particules de lumière appelées *photons* avec des stations terrestres pour produire des clés de cryptage.

Le satellite [QEYSSat](#) (*Quantum Encryption and Science Satellite* – Satellite de cryptographie et physique quantiques) mis au point par l'Agence spatiale canadienne avec le concours de chercheurs de l'Université de Waterloo, devrait être placé sur orbite basse au début de 2024. Le nouveau projet de l'Université Heriot-Watt financé par le pôle britannique de communications quantiques permettra de relier à QEYSSat des stations terrestres situées au Royaume-Uni, grâce à une source de photons à haut taux d'intrication.

D'autres progrès en vue d'un réseau mondial de communications quantiques sûres dans l'espace sont réalisés grâce à un autre projet en cours qui a reçu en novembre 2020 un financement bilatéral du Royaume-Uni (par le truchement d'Innovate UK) et du Canada (par le truchement du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada). Appelé [ReFQ](#), ce projet accroîtra davantage les possibilités de la mission QEYSSat. Il est dirigé conjointement par Craft Prospect, partenaire du pôle britannique de communications quantiques (équipe du Royaume-Uni) et l'Université de Waterloo (équipe canadienne, avec Honeywell Canada, l'Agence spatiale canadienne et l'Université de Calgary). Ce projet vise à intégrer une source de signaux quantiques mise au point par l'Université de Bristol et l'Université de Strathclyde, également partenaires du pôle britannique, et un nouveau protocole conçu par l'équipe de l'Université de Waterloo. Ce système permettra au microsattellite QEYSSat de transmettre des signaux quantiques avec une autocompensation qui simplifiera l'harmonisation des états quantiques entre l'espace et les stations terrestres. Le transmetteur sera relié aux stations terrestres des 2 côtés de l'Atlantique, ce qui constituera une démonstration de faisabilité d'un réseau mondial de communications quantiques sûres.

Agir comme catalyseur de collaborations entre scientifiques de l'information quantique.

L'IQC offre une ambiance qui encourage et salue la collaboration à tous les échelons. Voici quelques projets menés en collaboration qui ont commencé ou se sont poursuivis au cours de l'année écoulée. L'annexe D, à la page 85, donne la liste de ces collaborations (noter que cette liste ne comprend pas les publications à plusieurs auteurs.)

Programme d'informatique quantique de l'ICRA

Ce programme réunit des physiciens, des mathématiciens, des informaticiens, etc., pour aborder les questions les plus fondamentales en informatique quantique. Il compte en tout 34 membres — dont 3 sont professeurs à l'IQC et 2 sont affiliés à l'IQC. Le programme d'informatique quantique a été mis sur pied en 2002, puis renouvelé en 2007 et en 2012.



Le programme Défi « Réseaux sécurisés à haut débit » du CNRC

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) travaille activement avec des partenaires et collaborateurs canadiens talentueux afin de s'attaquer aux pirates de l'avenir. Dans le cadre du programme *Défi « Réseaux sécurisés à haut débit »* du CNRC, ces personnes cherchent à faire en sorte que les réseaux du Canada, tant dans les zones urbaines densément peuplées que dans les régions rurales et éloignées, soient protégés contre les menaces quantiques.

Établie à Kitchener, en Ontario, l'entreprise evolutionQ, pionnière de la cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques, est dirigée par Michele Mosca, Ph.D., et Norbert Lütkenhaus, Ph.D., tous deux professeurs à l'IQC et experts de renommée mondiale en informatique quantique. L'expérience de l'entreprise en matière de logiciels pour de tels produits et services de sécurité en fait un partenaire idéal pour l'industrie et le gouvernement, alors que ceux-ci sont à la recherche de méthodes infaillibles afin de protéger les données canadiennes contre les menaces quantiques.

Fondation canadienne pour l'innovation (FCI)

Le programme de recherche de Crystal Senko fait partie des 21 projets de l'Université de Waterloo qui ont reçu une bourse du [Fonds des leaders John-R.-Evans](#) (FLJE) de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI).

Professeure au Département de physique et d'astronomie ainsi qu'à l'Institut d'informatique quantique, M^{me} Senko a obtenu plus de 200 000 \$ pour poursuivre ses recherches au laboratoire d'informatique quantique avec des ions piégés et des qubits non identiques, dans le but de mettre au point de nouveaux types d'ordinateurs quantiques à ions piégés.

Le financement fourni par le truchement du FLJE donne à des professeurs prometteurs un soutien à la recherche, aide à recruter et à conserver des chercheurs exceptionnels, en plus d'aider des chercheurs à acquérir des outils, le tout pour faciliter des innovations de grande qualité et de calibre international.

Promouvoir la collaboration par la participation à des conférences nationales et internationales.

L'IQC cherche des occasions de participer à des conférences nationales et internationales. Les professeurs de l'IQC ont été invités à prendre la parole à plus de 100 conférences mises sur pied par des organismes du monde entier. Quelques-unes d'entre elles sont énumérées ci-après. L'annexe G, à la page 94, donne la liste complète des conférences auxquelles les professeurs de l'IQC ont participé cette année. Veuillez noter que, cette année, toutes ces conférences ont eu lieu en mode virtuel.

- Source de photons individuels fondée sur une boîte quantique émettant à la longueur d'onde du césium, Conférence *Photonics West* de SPIE
- Défis de la construction d'un ordinateur quantique à base de silicium, Symposium de l'ISQED



- Diffraction à l'échelle de l'angström en résonance magnétique nucléaire : une avenue vers l'imagerie par résonance magnétique à résolution atomique, Société américaine de physique
- Bornes supérieures améliorées du rang des stabilisateurs d'états magiques, Ateliers de la réunion de l'Institut Simons pour la théorie du calcul
- Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser, QuanTalk
- Chimie de l'ultrafroid avec des molécules à état triplet, Congrès de l'ACP
- Nouvelles avenues de progrès des communications quantiques satellitaires, Symposium international de physique quantique
- Quelles sont les options pour la construction d'un ordinateur quantique de grande taille?, Institut de physique théorique de Paris-Saclay
- Codes quasi optimaux pour des communications quantiques interactives en régime de faible bruit, 5^e assemblée générale du consortium QSC, 2021
- Diminution du nombre de dimensions dans des protocoles de distribution quantique de clés à variables continues et modulation discrète, Qcrypt 2021
- Menaces à la cryptographie quantique et menaces émanant de celle-ci, Centre de partage et d'analyse d'information de l'initiative Downstream Natural Gas (DNG-ISAC)
- Hadrons SU(2) dans un ordinateur quantique, Colloque théorique du CERN
- Un nouveau regard sur le problème des arborescences collées, Théorie algébrique des graphes et information quantique à l'Institut Fields
- Contrôler la lumière à l'échelle nanométrique avec des nanostructures façonnées, Webinaire mondial sur les lasers, l'optique et la photonique
- Le problème de l'appartenance pour les ensembles de corrélations quantiques est indécidable, Université d'Innsbruck
- Effet Hall anormal non linéaire géant sur l'axe c dans T_d -MoTe₂, Réunion de printemps de la Société de recherche sur les matériaux
- Applications de l'informatique quantique en science des données, Forum sur l'intelligence synthétique
- Atomes artificiels géants et guides d'ondes topologiques programmables, Séminaire 2021 de QED sur les guides d'ondes
- Distributions de probabilité d'ordre 2 serrées dans un espace projectif complexe, Problèmes ouverts en combinatoire algébrique
- De QM à QuIN, Semaine quantique 2021



Organiser des conférences comportant une participation pluridisciplinaire.

Lorsque l'IQC planifie des conférences majeures, il reste fidèle à son engagement à promouvoir l'aspect pluridisciplinaire de l'informatique quantique. En raison des restrictions liées à la pandémie, l'IQC n'a pas pu organiser de conférences majeures en 2020-2021. Ces restrictions se sont prolongées à l'échelle provinciale ainsi que localement pendant tout l'exercice 2021-2022. Cependant, l'IQC s'est adapté rapidement et a organisé de nombreux séminaires et tables rondes en mode virtuel; cela s'est poursuivi en 2021-2022. En 2022-2023, nous espérons tenir des conférences en mode hybride et revenir à des rencontres en personne avec la levée des restrictions. Nous espérons renouveler les succès antérieurs des congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes, de *Une Pinte de Science Canada*, de la CAGIS, etc.

Universitaires et scientifiques invités à long terme

L'IQC reçoit des visiteurs scientifiques de premier plan, qui appartiennent à des organisations du monde entier. Ces collègues et collaborateurs viennent pour différentes raisons et restent à l'IQC pour des durées variables, afin de faire de la recherche, collaborer, partager leurs connaissances et faire des exposés. En 2021-2022, les chercheurs de l'IQC ont accueilli 20 scientifiques du monde entier. Voici quelques-unes des institutions d'appartenance de ces visiteurs :

Canada	Outre-mer	États-Unis
Université de Sherbrooke	Université libre de Berlin, Allemagne	Université Harvard
Université de Toronto	Institut de technologie de Karlsruhe, Allemagne	Université agricole et mécanique du Texas
Université d'Ottawa	Institut d'optique et d'information quantiques, Autriche	Université du Texas à Austin

Au cours de la dernière année, l'IQC a créé et renforcé des liens avec d'autres universités et organismes canadiens en science et technologie de l'information quantique. L'Institut a mis à profit la technologie pour poursuivre son programme de scientifiques invités et amener à l'IQC des chercheurs de premier plan à l'échelle internationale. En 2021-2022, 90 % (18/20) des scientifiques invités étaient de l'extérieur du Canada.

L'annexe H à la page 100, donne la liste complète des scientifiques qui ont rendu visite à l'IQC.



L'IQC en ligne : la bibliothèque d'apprentissage en ligne (QuOLL)

La bibliothèque d'apprentissage en ligne (QuOLL pour *Quantum Online Learning Library*) fournira de nouvelles possibilités d'apprentissage en physique quantique par le truchement de cours en ligne, exposés et travaux dirigés, gratuits et animés par des chercheurs de l'IQC. Les principaux publics visés sont les tenants de l'éducation permanente, les passionnés de physique quantique et les institutions d'enseignement qui souhaitent étendre ou enrichir leurs programmes sans avoir de ressources internes dans le domaine quantique. La disponibilité de ces cours pour les tenants de l'éducation permanente et le grand public est conforme à l'objectif de l'IQC de faire de l'éducation et de la sensibilisation dans le domaine quantique, ce qui renforce sa position d'autorité en science et technologie de l'information quantique. Cette bibliothèque sera inaugurée en 2022-2023, mais la production est bien avancée et la première série de vidéos sera disponible d'ici le trimestre d'automne 2022.

Objectif D

Améliorer et étendre les activités publiques de formation et de diffusion des connaissances de l'IQC, afin de promouvoir effectivement la science et l'informatique quantique, et de montrer comment la recherche sur l'information quantique peut être appliquée en vue de soutenir et d'attirer des scientifiques de classe mondiale.

Résultats visés : Faire connaître davantage la science et la technologie de l'information quantique, de même que l'IQC, dans la communauté scientifique et chez les Canadiens en général.

Activités prévues

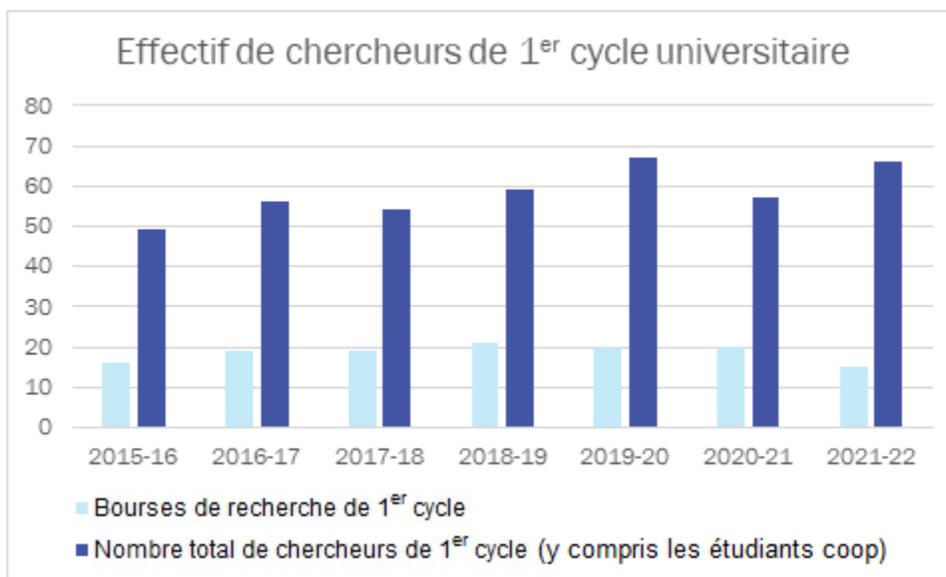
- Organiser les écoles d'été USEQIP (1^{er} cycle universitaire) et QSYS (niveau secondaire).
- Organiser l'atelier annuel Schrödinger pour enseignants.
- Organiser des activités de vulgarisation, notamment des conférences publiques, afin d'accroître les connaissances des participants sur l'information quantique et l'IQC.
- Présenter une programmation de STGM réservée aux femmes et aux filles.
- Établir des liens avec d'importants partenaires stratégiques, afin de diffuser davantage les découvertes résultant des recherches de l'IQC.
- Continuer de faire connaître les recherches effectuées à l'IQC au moyen de publications, de nouvelles et de communiqués de presse, ainsi que par le Web et les médias sociaux.
- Continuer de mettre à profit des ressources et du contenu en ligne, afin d'attirer de nouveaux visiteurs dans le site Web de l'IQC.

USEQIP

En 2021-2022, l'IQC a organisé en mode virtuel son école d'été annuelle USEQIP (*Undergraduate School for Experimental Quantum Information Processing* – École de 1^{er} cycle sur le traitement quantique expérimental de l'information), les lundis et jeudis soirs de 18 h à 22 h, du 31 mai au 29 juillet. Normalement, cette école comprend des exposés sur la théorie de l'information quantique et les méthodes expérimentales liées aux dispositifs quantiques, suivis de plus de 30 heures d'étude pratique du traitement de l'information quantique dans les installations d'expérimentation de l'IQC. Par contre, en raison de la tenue de l'USEQIP en mode virtuel, les travaux pratiques ont été remplacés par des démonstrations en direct complètes, y compris les erreurs expérimentales, et par des interactions vivantes en temps réel avec des expérimentateurs de l'IQC et de l'industrie.



L'USEQIP en mode virtuel a confirmé l'existence d'une demande importante au niveau du 1^{er} cycle universitaire pour un programme de haut niveau en information quantique. La tenue du programme en mode virtuel a fait bondir les inscriptions de près de 50 % (de 28 en 2019-2020 à 41 en 2021-2022) et a aussi suscité un nombre record de candidatures. De plus, même avec des règles d'emploi incertaines en Ontario en 2021-2022, le nombre d'étudiants de 1^{er} cycle embauchés par des chercheurs de l'IQC a pratiquement atteint un sommet.



QCSYS

L'IQC a tenu son école d'été annuelle QCSYS (*Quantum Cryptography School for Young Students* – École de cryptographie quantique pour jeunes étudiants) du 3 au 13 août 2021. Désormais, la QCSYS s'appelle la QSYS (*Quantum School for Young Students* – École de physique quantique pour jeunes élèves). L'IQC a mis à profit les leçons tirées de la première mouture virtuelle en 2020, et le programme final a consisté en 18 cours répartis sur 9 jours de semaine.

En août 2020, l'IQC a pu accueillir en format virtuel 110 élèves du secondaire très intéressés³ répartis dans le monde entier. En août 2021, le nombre d'inscrits a encore augmenté à 136 pour la 2^e mouture virtuelle du programme. Le bond des inscriptions à la QCSYS témoigne d'un intérêt extraordinaire pour le monde quantique, entre autres chez les jeunes élèves et le grand public, et souligne la réputation de l'IQC en tant qu'institut de recherche de classe mondiale en informatique quantique.

Dans un sondage mené auprès des participants après l'école d'été, 96,8 % des répondants ont qualifié d'excellente (70,4 %) ou de bonne (26,4 %) leur expérience de la QCSYS. Tous les répondants ont dit qu'ils encourageraient activement d'autres personnes à se porter candidats (66,7 %) ou qu'ils le feraient si on leur posait la question

³ Ils ont assisté à plus de 75 % des cours.

(33,3 %). Parmi les répondants, 89,6 % se sont dits fortement d'accord avec le fait que la QCSYS les a exposés à des idées non abordées dans leur cours secondaire.

« J'ai trouvé ce programme vraiment intéressant, utile et amusant. Par contre, si la QCSYS se tient en personne l'an prochain, il n'y aura pas autant de participants que cette année. Je suggère qu'il y ait un moyen d'inclure plus de gens, peut-être en répétant le programme plusieurs fois par année. » [traduction]

« J'ai beaucoup aimé ce programme, et si d'autres programmes liés à l'informatique quantique étaient offerts, je serais le premier à m'inscrire! Merci à tous les professeurs qui ont rendu cette expérience formidable! » [traduction]

« Merci pour ces 2 semaines extraordinaires. Ce cours m'a ouvert les yeux sur beaucoup d'autres possibilités et avenues que je pourrais explorer dans l'avenir. » [traduction]

Atelier Schrödinger

L'IQC a tenu son atelier annuel Schrödinger pour enseignants du 30 novembre au 5 décembre.

Malgré la pandémie, l'atelier Schrödinger a connu un succès retentissant en 2020. L'IQC avait alors eu plusieurs mois pour se retourner et avait pu utiliser un nouvel équipement et intégrer les leçons apprises à l'échelle mondiale par suite du passage à des prestations en ligne. En 2021, l'atelier Schrödinger a connu autant de succès, et les enseignants ont parfois prolongé de beaucoup les séances de 90 minutes prévues, avec des suites de questions et réponses après les ateliers.

Comme en 2020, l'atelier Schrödinger s'est tenu en 2021 avec 2 groupes virtuels de participants; ainsi qu'on l'a noté plus haut (voir la page 54), la participation et l'intérêt ont été semblables à ceux de 2020, avec une capacité et une portée géographique beaucoup plus grandes que dans le cas d'un atelier en personne. Le 1^{er} groupe a suivi l'atelier pendant 3 soirs sur semaine, du 30 novembre au 2 décembre. Le 2^e groupe a suivi l'atelier pendant la fin de semaine des 4 et 5 décembre. Dans les 2 cas, il y a eu 3 séances distinctes de 90 minutes comprenant des exposés faits par John Donohue, ainsi que de multiples discussions. Voici les sujets abordés au cours des 3 séances : la superposition quantique et la polarisation de la lumière; la dualité onde-particule et l'interférence; le principe d'incertitude.

Dans un sondage mené après l'atelier auprès des enseignants participants, 92,8 % des répondants ont dit qu'ils recommanderaient activement le programme (75,9 %) ou qu'ils le feraient si on leur posait la question (16,9 %). À la question « À combien d'enseignants allez-vous faire connaître les documents de l'atelier Schrödinger? », les participants ont en moyenne répondu que ce nombre serait de 12.

« L'atelier a été conçu de manière intelligente. J'ai eu l'impression d'avoir l'information nécessaire pour progresser dans ma compréhension du sujet »

(maintenant ou dans l'avenir). Je n'étais pas toujours au courant de l'objectif d'apprentissage de chaque séance (p. ex. nous allons faire la démonstration de la leçon comme vous l'utiliserez en classe). » [traduction]”

« J'aime les documents qui étaient disponibles, y compris les diapos et la vidéo YouTube. Tout était très bien préparé. J'ai aussi aimé les séances de questions. Si c'était possible, 4 séances de 90 minutes chacune seraient utiles, mais c'est là un point mineur. » [traduction]

« Merci pour le matériel fourni avec lequel nous pouvons travailler. Merci aussi pour les ressources qui nous permettent de poursuivre notre apprentissage! » [traduction]

Conférences publiques

Cette année, l'IQC a mis fin à la série des « conversations au coin du feu » dans YouTube, et a inauguré une série intitulée *Quantum Today* (Le monde quantique aujourd'hui) pour répondre au besoin général d'un contenu davantage scientifique. Fait intéressant, Alan Jamison est apparu à la fois dans le dernier épisode des « conversations au coin du feu » et dans le dernier épisode de la série *Quantum Today* pour 2021-2022. Dans sa « conversation au coin du feu », il a raconté le parcours personnel qui l'a amené à faire de la physique de pointe. Dans *Quantum Today*, il a parlé des travaux menés en collaboration avec le laboratoire Ketterle du MIT, qui portent sur de nouvelles manières de contrôler des réactions chimiques grâce à l'interférence quantique. Ces travaux ont conduit à la publication récente d'un article dans la revue *Science*.

La série *Quantum Today* a aussi présenté les travaux de 5 autres équipes de l'IQC :

- Chung-You Shih et Kazi Rajibul Islam font un exposé sur un nouvel algorithme qui fait appel à un hologramme pour contrôler des ions piégés;
- Luca Dellantonio parle d'un solveur propre quantique variationnel fondé sur des mesures;
- Twesh Upadhyaya aborde la diminution du nombre de dimensions dans des protocoles de distribution quantique de clés;
- Chris Wilson parle de la simulation de particules quantiques dans un treillis;
- Andrew Cameron et Connor Kapahi abordent l'optique dans un grand nombre de dimensions.

En plus d'exposés sur des recherches en cours à l'IQC, une autre série d'exposés d'anciens de l'IQC a été inaugurée, afin de présenter les recherches actuelles d'anciens de l'IQC ainsi que leur parcours professionnel. Les participants à cette série ont été :

- Tomas Jochym-O'Connor (actuellement chez IBM Research);
- Corey Rae McRae (actuellement directrice de la plateforme d'essai quantique cryogénique de Boulder, à l'Université du Colorado à Boulder);

- Juan Miguel Arrazola (actuellement chez Xanadu)

L'IQC a en outre collaboré avec la Bibliothèque publique de Kitchener en fournissant l'expertise de John Donohue pour animer des exposés sur de nouvelles parutions :

- *Where did the Universe come from?* (D'où l'univers a-t-il émergé?), de Chris Ferrie et Geraint F. Lewis;
- *A Brief History of Timekeeping* (Une brève histoire de la mesure du temps), par Chad Orzel

Visites scolaires

L'IQC a continué d'offrir des visites virtuelles à des groupes de physique d'écoles secondaires de partout au Canada. Au cours de ces visites, des experts en physique quantique se joignent virtuellement à une classe et font une présentation sur la physique et l'information quantiques. Ils répondent aux questions des élèves sur le domaine et sur les voies menant à des carrières en recherche. La demande pour de telles visites virtuelles a explosé cette année, avec plus de 5 000 élèves en Ontario, au Québec, en Alberta et au Manitoba, de même qu'aux États-Unis. En outre, près de 400 élèves du primaire jusqu'à la 9^e année, surtout dans la région de Waterloo, ont bénéficié de présentations dans le cadre de divers partenariats, notamment avec THEMUSEUM et la CAGIS (*Canadian Association for Girls in Science* – Association canadienne pour les filles en sciences).

Promotion des sciences auprès des femmes et des filles

En plus de la collaboration avec la CAGIS mentionnée ci-dessus, l'IQC a organisé 11 autres activités qui visaient à promouvoir l'équilibre des sexes dans les STGM, et ce à tous les niveaux jusqu'au 1^{er} cycle universitaire au Canada. L'IQC a été représenté aux ateliers *PhysiX: Girls Matter* pour les enfants du primaire, aux ateliers de la CAGIS pour les filles de la 7^e à la 9^e année, aux ateliers *InspireHER* qui présentent la physique quantique aux filles des dernières années du secondaire, de même qu'à un certain nombre d'activités de recrutement destinées aux femmes du 1^{er} cycle universitaire. Toutes ces activités témoignent de l'engagement de l'IQC à non seulement favoriser un meilleur équilibre des sexes à l'IQC, mais aussi à promouvoir un milieu plus inclusif où l'enthousiasme pour les idées est répandu largement et sans discrimination partout au Canada.

En novembre, l'IQC a également organisé une table ronde virtuelle entièrement féminine intitulée *How I Got Into Quantum: A Graduate Student Perspective* (Comment je suis arrivée dans le domaine quantique : point de vue d'étudiantes diplômées). Cette table ronde a montré divers parcours qui ont mené ces femmes jusqu'à l'IQC et a inclus une discussion sur leurs intérêts actuels et futurs. Plus de 1 000 personnes ont visionné cette activité en direct et sur demande, pour un total de plus de 75 heures de visionnement. Les panélistes étaient :

- Cindy Yang, doctorante à l'IQC en génie électrique et informatique (première récipiendaire de la bourse d'études supérieures Raymond-Laflamme-et-Janice-Gregson pour les femmes en informatique quantique);

- Natalie Parham, étudiante à la maîtrise en combinatoire et optimisation;
- Joanna Krynski, étudiante à la maîtrise en physique et astronomie.

Dans le cadre de son engagement en faveur de l'équité et de la diversité, l'IQC s'efforce d'ouvrir des portes aux filles et aux femmes avant qu'elles ne se portent candidates aux études supérieures, afin que les études supérieures en STGM représentent pour elles une possibilité viable. Dans la foulée d'un mouvement vers la parité des sexes, 41 % des participants à QCSYS (pour les élèves du secondaire) ont déclaré être de genre féminin, de même que 52 % des participants à l'atelier Schrödinger (pour les enseignants du secondaire). En aidant les filles et les jeunes femmes à prendre en considération l'informatique quantique, l'IQC s'efforce d'élargir grandement dans l'avenir le réservoir de talents pour ses programmes, et les programmes de STGM en général.

Tout comme il est important de faire de la place aux femmes dans les programmes d'études supérieures, il est tout aussi important de souligner des exemples de femmes qui réussissent dans le domaine quantique. C'est ainsi qu'en novembre 2021, l'IQC, en partenariat avec le commerce W Store, a organisé une conversation entre Chandra Prescod-Weinstein, Ph.D., et Kayleigh Platz, directrice des communications et des initiatives stratégiques à l'IQC, à propos du récent ouvrage de M^{me} Prescod-Weinstein sur le modèle standard de la physique des particules. L'IQC a également présenté un exposé de Shohini Ghose, Ph.D., membre affiliée de l'IQC, corédactrice en chef de la Revue canadienne de physique et directrice du Centre Laurier pour les femmes en sciences, à propos d'un cadre pour promouvoir l'excellence en sciences au moyen de l'inclusion, de la diversité et de l'accessibilité. Ces 2 exemples montrent des possibilités qui s'ouvrent aux femmes en physique avancée.

Partenariats stratégiques de rayonnement

L'IQC a conclu des partenariats avec des organismes tels que la Bibliothèque publique de Kitchener et THEMUSEUM pour amener des idées et des associations du domaine quantique dans des espaces publics virtuels. L'IQC maintient en outre des relations avec TelusSpark et la CAGIS (*Canadian Association for Girls in Science* – Association canadienne pour les filles en sciences), et continue de collaborer avec des entreprises et des organismes à but non lucratif pour promouvoir de manière élargie la physique quantique. L'IQC se concentre sur la conclusion de nouveaux partenariats en 2022-2023, dont certains ont déjà commencé à porter des fruits.

Communications

L'IQC veille à ce que les chercheurs et leurs travaux soient reconnus dans le monde entier, par le truchement d'articles, de communiqués de presse ainsi que de documents imprimés et en ligne. Les communications sont adaptées de manière à être accessibles à une vaste gamme d'auditoires allant du grand public à la communauté du domaine quantique.



Articles et couverture médiatique

Avec des résultats de recherche publiés chaque année, l'IQC s'efforce de promouvoir les travaux de sa communauté dans les principaux médias. Cette année, on a relevé environ 1 260 mentions de l'IQC dans les médias, pour un total de 1,7 milliard d'impressions (nombre de lectures ou de visionnements d'une publication dans une source). Les mentions dans les médias ont sensiblement augmenté en 2021-2022, revenant aux niveaux antérieurs à la pandémie, en partie grâce aux agences de transmission. Le nombre potentiel d'impressions demeure du même ordre que lors des années précédentes.

Les médias dans lesquels ces mentions sont parues comprennent entre autres : *Forbes*, *Yahoo! Finance*, l'émission *All Things Considered* de la radio publique américaine NPR, *Tech Radar*, *Popular Science*, *Physics Today* et *Security Magazine*. Tous ont mentionné ou cité l'IQC ou des chercheurs de l'IQC au cours de la dernière année, ce qui témoigne de la présence mondiale de l'IQC dans l'industrie quantique en émergence à l'échelle internationale.

Site Web

Le site Web de l'IQC est un moyen important de diffuser les connaissances, les recherches et les succès de l'IQC, ainsi que de mieux faire connaître l'IQC comme un chef de file mondial de la recherche sur les technologies quantiques.

Le rythme de consultation du site Web de l'IQC est demeuré dans la même veine que l'année précédente. Le nombre de consultations a augmenté par rapport à l'année précédente. Il y a eu 124 042 visiteurs distincts en 2021-2022, contre 108 510 en 2020-2021. De plus, le nombre de pages consultées est passé à 435 011 en 2021-2022, contre 320 553 en 2020-2021.

Au cours du dernier exercice, environ 72 % des consultations du site Web se sont faites de l'extérieur du Canada — les visiteurs des États-Unis, de l'Inde et de la Chine étant les plus nombreux. Le référencement naturel a été à l'origine de 53 % des consultations du site Web de l'IQC. Cela signifie que la majorité des visiteurs de ce site ont trouvé celui-ci à l'aide de moteurs de recherche.

Le terme *quantum computing* (informatique quantique) continue d'être celui qui amène le plus de consultations du site. Cela montre que l'IQC constitue une ressource importante et faisant autorité pour ceux qui veulent en savoir davantage sur cette application de la physique quantique.

L'IQC a mis sur pied une nouvelle section, intitulée en anglais *Quantum 101* et en français *Physique quantique 101*, accessible depuis août 2021, qui procure une expérience intéressante, accessible et instructive. Depuis son lancement, cette section a attiré 89 052 nouveaux utilisateurs qui ont consulté en tout 330 508 pages.



Médias sociaux

Pendant toute la période du 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022, l'IQC a continué de poster du contenu instructif et intéressant à l'intention de ses abonnés dans les médias sociaux. Plus de 900 éléments de contenu postés dans Facebook, Twitter, Instagram et LinkedIn ont produit près de 977 000 impressions et plus de 24 000 actions. Au cours de la même période, le canal YouTube de l'IQC a fait l'objet de plus de 199 000 visionnements totalisant plus de 21 500 heures. L'IQC a notamment attiré l'attention sur les réalisations de ses chercheurs et leurs répercussions, avec une campagne exhaustive dans les médias sociaux autour du rapport d'impact 2021.

Pendant toute l'année écoulée, l'IQC a bénéficié d'une croissance de l'activité dans tous ses comptes de médias sociaux. Voici quelques points saillants de la présence de l'IQC dans les médias sociaux pour la période allant du 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022. La croissance constante de la présence en ligne est un signe positif qui témoigne de la position de l'IQC comme autorité dans son domaine.

	Nouveaux abonnés	Nombre total d'abonnés	Augmentation
YouTube	3 116	24 600	14,9 %
Facebook	112	5 541	2,0 %
Twitter	1 202	16 464	7,6 %
Instagram	324	1 513	27,2 %

L'IQC continue de planifier et de mettre en œuvre de nouvelles stratégies de production, pour les médias sociaux, d'un contenu de grande qualité lié à la physique quantique et qui soit utile pour son public. À la fin de 2021, l'IQC a commencé à mettre en œuvre de nouvelles tactiques pour améliorer le rendement des médias sociaux et communiquer avec les publics visés, les objectifs principaux étant d'intéresser les personnes concernées, d'augmenter leur nombre et de les fidéliser.

L'IQC maintient sa position comme autorité en physique quantique, ainsi que la position du Canada comme chef de file mondial dans ce domaine, tout en montrant que la science et la technologie de l'information quantique valent la peine d'être davantage comprises, soutenues et développées.

Rapport d'impact

Le [rapport Impact quantique 2021](#) a été publié en décembre 2021. Pour la première fois, le rapport d'impact a été publié en ligne sous une forme numérique immersive, afin de mettre en valeur l'IQC et les recherches effectuées dans le domaine quantique, grâce à des articles concis, des vidéos et des photographies. Le lancement s'est fait par l'envoi de courriels directs et a été appuyé par une campagne exhaustive dans les médias sociaux. Avec des taux d'ouverture et de parcours supérieurs à la moyenne (respectivement 45,7 %, soit 9,4 % de plus que la moyenne, et 6,6 %, soit 1,6 % de plus que la moyenne),



la campagne d'envoi de courriels directs a réussi à atteindre nos publics. Jusqu'à maintenant, la campagne dans les médias sociaux a produit 70 451 impressions. Il y a eu également un taux de réaction élevé dans les médias sociaux, que l'on a observé dans tous les environnements. Le taux de réaction (TR) est le nombre moyen de réactions sur le nombre moyen d'impressions. Un TR de 1 à 3 % est considéré comme bon, et un taux supérieur à 5 % est considéré comme élevé. Les chiffres ci-dessous portent sur la période allant du 14 décembre 2021 au 31 mars 2022.

Mesure	Twitter	Facebook	Instagram
Taux de réaction (TR)	2,7 %	3,8 %	8,9 %
TR moyen	5,1 %		

Vidéos (YouTube)
Nombre de visionnements : 1 145
Temps total de visionnement : 18,3 h
Pourcentage moyen visionné : 56,1 %

Le nombre d'accès Web et le temps passé sur une page ont servi à mesurer l'utilisation du contenu. Des conversions ont été définies et suivies dans Google Analytics. En seulement 6 semaines, 5 856 pages ont été consultées au cours de 1 723 séances. Un taux de rebond de seulement 23,9 % montre que les lecteurs viennent consulter le site et interagissent avec son contenu. Le taux global de conversion est de 178 %, ce qui montre que les lecteurs sont intéressés par le rapport et lisent son contenu.

Conversions, en pourcentage du nombre total d'accès Web			
Au moins 1 page/séance :	12,3 %	30 secondes sur une page :	11,6 %
Au moins 3 pages/séance :	6,5 %	60 secondes sur une page :	9,3 %
Au moins 5 pages/séance :	5,0 %	90 secondes sur une page :	7,6 %

La publication numérique a été complétée par un bref document imprimé de haute tenue qui a été envoyé à 266 destinataires. L'invitation à consulter la publication en ligne a été honorée par 21 % des destinataires. Ceux-ci étaient invités à lire le rapport complet, à communiquer avec l'IQC et à participer au voyage quantique. Des copies imprimées des points saillants du rapport sont également disponibles sur le campus, et les membres de l'IQC peuvent les distribuer à diverses parties prenantes. Le rapport *Impact quantique 2021* est un document intéressant qui établit effectivement un pont entre la recherche dans le domaine quantique et ses répercussions potentielles.

Objectif E

Traduire de plus en plus les résultats de la recherche en produits quantiques commercialisables qui apporteront des bénéfices économiques et sociétaux au Canada, et favoriser du même coup les projets conjoints et la collaboration avec des partenaires du secteur privé tout en suscitant des occasions de commercialisation.

Résultats visés : Permettre au Canada de tirer parti des bénéfices économiques et sociétaux de l'informatique quantique en saisissant les occasions de commercialiser les percées réalisées.

Activités prévues

- Soutenir la création d'une nouvelle industrie quantique.
- Fournir aux chercheurs de l'IQC des occasions de tisser des liens avec l'écosystème entrepreneurial de Waterloo, grâce au réseautage et à des activités officielles en partenariat avec les réseaux étendus d'entreprises en démarrage de la région de Waterloo.

Soutien à l'industrie quantique et liens avec l'écosystème quantique

L'IQC est un acteur crucial dans l'écosystème de la science, de la technologie et de l'innovation en physique quantique au Canada. Il continue de favoriser un milieu d'entrepreneuriat, et il réunit des universitaires, des entreprises en démarrage, des incubateurs et des investisseurs pour accélérer la commercialisation de la technologie quantique.

En mars 2022, les chercheurs de l'IQC détenaient collectivement plus de 40 brevets et 30 licences, ainsi que 2 brevets provisoires accordés en 2021-2022. En tout, les professeurs de l'IQC ont 45 demandes de brevet en attente d'approbation.

Les recherches et nouvelles technologies innovatrices issues de l'IQC influencent la mise sur pied de nouvelles entreprises et ont des répercussions significatives sur les marchés. À ce jour, les 16 entreprises ci-après sont nées par suite de recherches menées à l'IQC.



Entreprises issues de l'essaimage à partir de l'IQC :

- EvolutionQ
- Neutron Optics
- QuantumLaf inc.
- Universal Quantum Devices
- SoftwareQ inc.
- SpinQ
- Aquabits
- Northern Quantum Lights
- High Q Technologies LP
- BioGraph Sense inc.
- Qubic inc.
- Single Quantum Systems
- QEYnet
- Foqus
- Q-Block Computing inc.
- Aegis Quantum

Remarque : Auparavant, les chercheurs n'étaient pas tenus de rapporter leurs activités en matière de brevets et de commercialisation. Les brevets et licences pourraient donc être plus nombreux que ce qui est mentionné plus haut.

Alors que plus de 40 % des chercheurs principaux de l'IQC ont commercialisé leur expertise et leurs recherches par le truchement d'entreprises issues de l'essaimage à partir de l'IQC et par des brevets, davantage de chercheurs soutiennent d'autres manières le développement d'une industrie quantique. Ces contributions peuvent consister à donner des conseils à des entreprises (œuvrant ou non dans le domaine quantique), à accompagner de jeunes diplômés qui visent une carrière dans l'industrie, ainsi qu'à collaborer avec des incubateurs et des pôles de développement d'entreprises dans la *Quantum Valley* et au-delà.

Transformer des idées quantiques en technologies percutantes

À l'IQC, l'excellence en recherche et l'innovation vont de pair. Sa riche culture entrepreneuriale attire et soutient des experts du domaine quantique qui choisissent d'aller au-delà de leurs aspirations pour mettre au point des technologies percutantes. Ce succès est illustré par Quantum Benchmark, qui a mis au point des outils commerciaux de caractérisation et de validation de processeurs quantiques. Quantum Benchmark a été acquise en 2021-2022 par Keysight Technologies, mais elle reste établie dans la *Quantum Valley*, dans la région de Waterloo. Ce milieu unique, combiné à des programmes comme *Alliance quantique*, a permis l'émergence de plusieurs applications technologiques. En voici quelques points saillants :

- commercialisation d'un système quantique de micro-ondes fondé sur des circuits supraconducteurs, qui produit des corrélations maximales avec un minimum de bruit ajouté (Chris Wilson, Qubic);
- mise au point de nouveaux matériaux à base de graphène pour la biodétection et des applications électroniques en arrière-plan (Michal Bajcsy, BioGraph Sense inc.)

- mise au point d’algorithmes quantiques et de techniques d’apprentissage automatique pour augmenter la sensibilité de la technologie de la résonance magnétique (Sadegh Raeisi, Foqus).

Promotion de possibilités dans des écosystèmes d’entreprises

Pour veiller à ce que ses scientifiques aient l’orientation et le soutien voulus pour apprendre à commercialiser leurs recherches, l’IQC a conclu des partenariats avec divers organismes de la *Quantum Valley* et du corridor technologique Waterloo–Toronto, afin d’établir des relations avec diverses parties prenantes.

- En mai 2021, l’IQC a conclu un partenariat avec Creative Destruction Lab pour mettre en évidence son programme visant à aider de jeunes pousses dans le domaine quantique à croître et à mettre au point un prototype prêt à annoncer. Un séminaire organisé en partenariat avec TQT et avec l’Institut Périmètre a permis aux instituts et programmes participants de présenter aux étudiants, scientifiques et chercheurs principaux présents les différentes modalités d’appui disponibles dans la *Quantum Valley* pour les aspirants entrepreneurs.
- En mai 2021, Quantum Benchmark, fondé par Joseph Emerson et Joel Wallman, professeurs à l’IQC, a été acquise par Keysight Technologies. Keysight est une entreprise de mesure électronique dont les revenus se situent entre 1 et 10 milliards de dollars et qui compte plus de 10 000 employés dans le monde. Cette acquisition montre la valeur des connaissances accumulées à l’IQC. De plus, la propriété intellectuelle développée reste à Waterloo et est très étroitement liée à l’environnement plus large de la *Quantum Valley*.
- En juin 2022, on a annoncé qu’evolutionQ (fondée par Michele Mosca et Norbert Lütkenhaus) avait obtenu 7 millions CAD en financement de série A sous la direction de Quantonation. Une grande partie de cette opération de financement a eu lieu au cours de l’exercice 2021-2022. Les systèmes de cryptographie et dispositifs à l’épreuve des attaques quantiques proposés par evolutionQ sont destinés aux institutions financières qui ont de fortes exigences en matière de cybersécurité et qui sont très au courant des changements dans ce domaine liés à l’informatique quantique et aux technologies quantiques.

ANNEXES

A. Évaluation et mitigation des risques

CONSÉQUENCES	PROBABILITÉ		
	IMPORTANTES	FAIBLE	ÉLEVÉE
MOYENNES	6	8	9
FAIBLES	3	5	7
	1	2	4

Facteur de risque	Conséquences	Probabilité	Cote de risque	Explication de la cote de risque	Mesures d'atténuation
Un déclin du corps professoral affecte de manière négative les résultats de la recherche et la réputation de l'IQC.	Importantes	Moyenne	8	Si le confinement et les restrictions de voyages internationaux se prolongent longtemps au Canada pendant que d'autres pays reprennent un fonctionnement normal, cela peut nuire à notre capacité à collaborer et à faire des recherches en personne. Les recherches de l'IQC donnent des résultats qui contribuent à son excellente réputation. Un déclin du corps professoral pourrait affecter de manière négative les résultats de la recherche et donc la réputation de l'IQC.	Continuer de définir et de mettre en œuvre de nouvelles méthodes de collaboration virtuelles. Intensifier les efforts de recrutement, face à la concurrence croissante, au pays et à l'étranger, pour avoir des chercheurs au rendement élevé.
Des technologies révolutionnaires peuvent rendre la recherche actuelle moins pertinente.	Importantes	Faible	6	Si les recherches menées à l'IQC deviennent moins pertinentes, le personnel hautement qualifié et les personnes qui souhaitent obtenir des données iront ailleurs.	Mener des recherches variées, afin que l'IQC se distingue de ses concurrents. Poursuivre la collaboration avec des partenaires, afin que la recherche corresponde aux priorités sociétales et aux impératifs économiques. Continuer de faire des demandes de fonds de recherche, afin de soutenir et de faire progresser des applications, de l'équipement de pointe, ainsi que des percées scientifiques et techniques.



L'IQC pourrait ne pas réussir à recruter suffisamment de personnel hautement qualifié à l'étranger.	Importantes	Faible	6	Les restrictions de voyage dues à la COVID-19 pourraient empêcher du personnel hautement qualifié d'entrer au Canada pour y étudier et y travailler.	Diversifier les milieux et les pays où l'IQC recrute des étudiants. Promouvoir suffisamment l'IQC. Veiller à faire d'excellentes recherches.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------	--------	---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

B. Publications

Du 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022

1. Bindel, N; Schanck, JM. (2021) Decryption Failure Is More Likely After Success. Post-Quantum Cryptography, PQCrypto 2020
2. Sinha, U. (2021) THE TRIPLE-SLIT EXPERIMENT. Scientific American
3. Anshu, A; Arunachalam, S; Kuwahara, T; Soleimanifar, M. (2021) Sample-efficient learning of quantum many-body systems. 2020 IEEE 61st Annual Symposium On Foundations Of Computer Science (FOCS 2020)
4. Scott, A; Jennewein, T; D'Souza, I; Hudson, D; Podmore, H; Soh, W. (2021) The QEYSSat mission: On-orbit demonstration of secure optical communications network technologies. Environmental Effects On Light Propagation And Adaptive Systems III
5. Di Matteo, O; Gamble, J; Granade, C; Rudinger, K; Wiebe, N. (2021) Operational, gauge-free quantum tomography. Quantum
6. Kuroiwa, K; Yamasaki, H. (2021) General Quantum Resource Theories: Distillation, Formation and Consistent Resource Measures. Quantum
7. Barnum, H; Graydon, MA; Wilce, A. (2021) Composites and Categories of Euclidean Jordan Algebras. Quantum
8. Wiersema, R; Zhou, CL; de Sereville, Y; Carrasquilla, JF; Kim, YB; Yuen, H. (2021) Exploring Entanglement and Optimization within the Hamiltonian Variational Ansatz. PRX Quantum
9. Anshu, A; Gosset, D; Korol, KJM; Soleimanifar, M. (2021) Improved Approximation Algorithms for Bounded-Degree Local Hamiltonians. Physical Review Letters
10. Tjoa, E; Martin-Martinez, E. (2021) When entanglement harvesting is not really harvesting. Physical Review D
11. Bejanin, JH; Earnest, CT; Sanders, YR; Mariantoni, M. (2021) Resonant Coupling Parameter Estimation with Superconducting Qubits. PRX Quantum
12. Bostanci, J; Kubica, A. (2021) Finding the disjointness of stabilizer codes is NP-complete. Physical Review Research
13. Hashim, A; Naik, RK; Morvan, A; Ville, JL; Mitchell, B; Kreikebaum, JM; Davis, M; Smith, E; Iancu, C; O'Brien, KP; Hincks, I; Wallman, JJ; Emerson, J; Siddiqi, I. (2021) Randomized Compiling for Scalable Quantum Computing on a Noisy Superconducting Quantum Processor. Physical Review X
14. Czischek, S; Torlai, G; Ray, S; Islam, R; Melko, RG. (2021) Simulating a measurement-induced phase transition for trapped-ion circuits. Physical Review A
15. Sani, FF; Rodrigues, IC; Bothner, D; Steele, GA. (2021) Level attraction and idler resonance in a strongly driven Josephson cavity. Physical Review Research
16. Peters, E; Caldeira, J; Ho, AL; Leichenauer, S; Mohseni, M; Neven, H; Spentzouris, P; Strain, D; Perdue, GN. (2021) Machine learning of high dimensional data on a noisy quantum processor. Npj Quantum Information
17. Atas, YY; Zhang, JL; Lewis, R; Jahanpour, A; Haase, JF; Muschik, CA. (2021) SU(2) hadrons on a quantum computer via a variational approach. Nature Communications
18. Kononenko, M; Yurtalan, MA; Ren, S; Shi, J; Ashhab, S; Lupascu, A. (2021) Characterization of control in a superconducting qutrit using randomized benchmarking. Physical Review Research
19. Ahmadzadegan, A; Simidzija, P; Li, M; Kempf, A. (2021) Neural networks can learn to utilize correlated auxiliary noise. Scientific Reports
20. Anisimova, E; Nikulov, D; Hu, SS; Bourgon, M; Neumann, SP; Ursin, R; Jennewein, T; Makarov, V. (2021) A low-noise single-photon detector for long-distance free-space quantum communication. EPJ Quantum Technology
21. Hou, SY; Feng, GR; Wu, ZP; Zou, HY; Shi, W; Zeng, JF; Cao, CF; Yu, S; Sheng, ZK; Rao, X; Ren, B; Lu, DW; Zou, JT; Miao, GX; Xiang, JG; Zeng, B. (2021) SpinQ Gemini: a desktop quantum computing platform for education and research. EPJ Quantum Technology
22. Sajeed, S; Jennewein, T. (2021) Observing quantum coherence from photons scattered in free-space. Light-Science & Applications
23. D'Souza, I; Bourgoin, JP; Higgins, BL; Lim, JG; Tannous, R; Agne, S; Moffat, B; Makarov, V; Jennewein, T. (2021) Repeated radiation damage and thermal annealing of avalanche photodiodes. Epj Quantum Technology
24. Abulkasim, H; Mashatan, A; Ghose, S. (2021) Secure multiparty quantum key agreement against collusive attacks. Scientific Reports
25. Girard, M; Plavala, M; Sikora, J. (2021) Jordan products of quantum channels and their compatibility. Nature Communications
26. Shih, CY; Motlakunta, S; Kotibhaskar, N; Sajjan, M; Hablutzel, R; Islam, R. (2021) Reprogrammable and high-precision holographic optical addressing of trapped ions for scalable quantum control. Npj Quantum Information



27. Sajeed, S; Chaiwongkhot, P; Huang, AQ; Qin, H; Egorov, V; Kozubov, A; Gaidash, A; Chistiakov, V; Vasiliev, A; Gleim, A; Makarov, V. (2021) An approach for security evaluation and certification of a complete quantum communication system. *Scientific Reports*
28. Yang, XD; Chen, X; Li, J; Peng, XH; Laflamme, R. (2021) Hybrid quantum-classical approach to enhanced quantum metrology. *Scientific Reports*
29. Huo, JP; Xiao, Y; Sun, TM; Zou, GS; Shen, DZ; Feng, B; Lin, LC; Wang, WA; Zhao, GL; Liu, L. (2021) Femtosecond Laser Irradiation-Mediated MoS₂-Metal Contact Engineering for High-Performance Field-Effect Transistors and Photodetectors. *ACS Applied Materials & Interfaces*
30. Perche, TR; Martin-Martinez, E. (2021) Antiparticle detector models in QFT. *Physical Review D*
31. Ahiable, J; Kribs, DW; Levick, J; Pereira, R; Rahaman, M. (2021) Entanglement breaking channels, stochastic matrices, and primitivity. *Linear Algebra And Its Applications*
32. Patel, T; Drozdov, A; Minkov, VS; Eremets, MI; Nicol, EJ; Carbotte, JP; Timusk, T; Tsen, AW. (2021) Infrared imaging of samples in ultrahigh pressure diamond anvil cells. *Journal Of Applied Physics*
33. Zhang, FL; Li, ZH; Xia, QT; Zhang, QH; Ge, C; Chen, YX; Li, XK; Zhang, LQ; Wang, K; Li, HS; Gu, L; Yan, SS; Miao, GX; Li, Q. (2021) Li-ionic control of magnetism through spin capacitance and conversion. *Matter*
34. Gray, F; Kubiznak, D; May, T; Timmerman, S; Tjoa, E. (2021) Quantum imprints of gravitational shockwaves. *Journal Of High Energy Physics*
35. Yurtalan, MA; Shi, J; Flatt, GJK; Lupascu, A. (2021) Characterization of Multilevel Dynamics and Decoherence in a High-Anharmonicity Capacitively Shunted Flux Circuit. *Physical Review Applied*
36. Cameron, AR; Cheng, SWL; Schwarz, S; Kapahi, C; Sarenac, D; Grabowecky, M; Cory, DG; Jennewein, T; Pushin, DA; Resch, KJ. (2021) Remote state preparation of single-photon orbital-angular-momentum lattices. *Physical Review A*
37. Dong, Y; Taylor, J; Lee, YS; Kong, HR; Choi, KS. (2021) Waveguide-QED platform for synthetic quantum matter. *Physical Review A*
38. Vriend, S; Grimmer, D; Martin-Martinez, E. (2021) The Unruh Effect in Slow Motion. *Symmetry-Basel*
39. Wyenberg, CM; Lankhaar, B; Rajabi, F; Chamma, MA; Houde, M. (2021) Generalization of the Menegozzi and Lamb maser algorithm to the transient superradiance regime. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*
40. Jay, G; Arnault, P; Debbasch, F. (2021) Dirac quantum walks with conserved angular momentum. *Quantum Studies-Mathematics And Foundations*
41. Micadei, K; Peterson, JPS; Souza, AM; Sarthour, RS; Oliveira, IS; Landi, GT; Serra, RM; Lutz, E. (2021) Experimental Validation of Fully Quantum Fluctuation Theorems Using Dynamic Bayesian Networks. *Physical Review Letters*
42. Grimmer, D; Torres, BDL; Martin-Martinez, E. (2021) Measurements in QFT: Weakly coupled local particle detectors and entanglement harvesting. *Physical Review D*
43. Tansuwannont, T; Leung, D. (2021) Fault-tolerant quantum error correction using error weight parities. *Physical Review A*
44. Chamma, MA; Rajabi, F; Wyenberg, CM; Mathews, A; Houde, M. (2021) Evidence of a shared spectro-temporal law between sources of repeating fast radio bursts. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*
45. Xie, MY; Lee, YS; Tannous, R; Long, GL; Jennewein, T. (2021) Roles of fiber birefringence and Raman scattering in the spontaneous four-wave mixing process through birefringent fibers. *Optics Express*
46. Ekinci, H; Soltani, M; Jahed, NMS; Zhu, XL; Cui, B; Pushin, D. (2021) Effect of annealing on the structural, optical and surface properties of chromium oxide (Cr₂O₃) thin films deposited by e-beam evaporation for plasma etching applications. *Journal Of Alloys And Compounds*
47. Buonacorsi, B; Sfigakis, F; Shetty, A; Tam, MC; Kim, HS; Harrigan, SR; Hohls, F; Reimer, ME; Wasilewski, ZR; Baugh, J. (2021) Non-adiabatic single-electron pumps in a dopant-free GaAs/AlGaAs 2DEG. *Applied Physics Letters*
48. Thomas, JO; Sowa, JK; Limburg, B; Bian, XY; Evangeli, C; Swett, JL; Tewari, S; Baugh, J; Schatz, GC; Briggs, GAD; Anderson, HL; Mol, JA. (2021) Charge transport through extended molecular wires with strongly correlated electrons. *Chemical Science*
49. Hung, JSC; Busnaina, JH; Chang, CWS; Vadiraj, AM; Nsanzineza, I; Solano, E; Alaeian, H; Rico, E; Wilson, CM. (2021) Quantum Simulation of the Bosonic Creutz Ladder with a Parametric Cavity. *Physical Review Letters*
50. Foo, J; Good, MRR; Mann, RB. (2021) Analog Particle Production Model for General Classes of Taub-NUT Black Holes. *Universe*
51. Lin, JN; Wallman, JJ; Hincks, I; Laflamme, R. (2021) Independent state and measurement characterization for quantum computers. *Physical Review Research*
52. Davis, J; Kumari, M; Mann, RB; Ghose, S. (2021) Wigner negativity in spin-j systems. *Physical Review Research*
53. Shi, Z; Lu, HZ; Liu, TY. (2021) Pseudo Landau levels, negative strain resistivity, and enhanced thermopower in twisted graphene nanoribbons. *Physical Review Research*



54. Paulson, D; Dellantonio, L; Haase, JF; Celi, A; Kan, AG; Jena, A; Kokail, C; van Bijnen, R; Jansen, K; Zoller, P; Muschik, CA. (2021) Simulating 2D Effects in Lattice Gauge Theories on a Quantum Computer. PRX Quantum
55. Lowe, A; Gordon, MH; Czarnik, P; Arrasmith, A; Coles, PJ; Cincio, L. (2021) Unified approach to data-driven quantum error mitigation. Physical Review Research
56. Duse, C; Sriram, P; Gharavi, K; Baugh, J; Muralidharan, B. (2021) Role of dephasing on the conductance signatures of Majorana zero modes. Journal Of Physics-Condensed Matter
57. Abulkasim, H; Mashatan, A; Ghose, S. (2021) Quantum-based privacy-preserving sealed-bid auction on the blockchain. Optik
58. Henderson, ME; Beare, J; Sharma, S; Bleuel, M; Clancy, P; Cory, DG; Huber, MG; Marjerrison, CA; Pula, M; Sarenac, D; Smith, EM; Zhernenkov, K; Luke, GM; Pushin, DA. (2021) Characterization of a Disordered above Room Temperature Skyrmion Material Co8Zn8Mn4. Materials
59. Puebla, R; Ban, Y; Haase, JF; Plenio, MB; Paternostro, M; Casanova, J. (2021) Versatile Atomic Magnetometry Assisted by Bayesian Inference. Physical Review Applied
60. Teoh, YH; Sajjan, M; Sun, ZW; Rajabi, F; Islam, R. (2021) Manipulating phonons of a trapped-ion system using optical tweezers. Physical Review A
61. Hazra, S; Bhattacharjee, A; Chand, M; Salunkhe, KV; Gopalakrishnan, S; Patankar, MP; Vijay, R. (2021) Ring-Resonator-Based Coupling Architecture for Enhanced Connectivity in a Superconducting Multiqubit Network. Physical Review Applied
62. Kuroiwa, K; Yamasaki, H. (2021) Asymptotically consistent measures of general quantum resources: Discord, non-Markovianity, and non-Gaussianity. Physical Review A
63. Leung, D; Nayak, A; Shayeghi, A; Touchette, D; Yao, PH; Yu, NK. (2021) Capacity Approaching Coding for Low Noise Interactive Quantum Communication Part I: Large Alphabets. IEEE Transactions On Information Theory
64. Shen, DZ; Xiao, M; Zhao, XY; Xiao, Y; Duley, WW; Zhou, YN. (2021) Multifunctional Self-Powered Electronics Based on a Reusable Low-Cost Polypropylene Fabric Triboelectric Nanogenerator. ACS Applied Materials & Interfaces
65. Herrera, M; Peterson, JPS; Serra, RM; D'Amico, I. (2021) Easy Access to Energy Fluctuations in Nonequilibrium Quantum Many-Body Systems. Physical Review Letters
66. Gallock-Yoshimura, K; Tjoa, E; Mann, RB. (2021) Harvesting entanglement with detectors freely falling into a black hole. Physical Review D
67. Jia, Q; Zou, GS; Zhang, HQ; Wang, WA; Ren, H; A, ZW; Deng, ZY; Yan, SH; Shen, DZ; Liu, L. (2021) Sintering mechanism of Ag-Pd nanoalloy film for power electronic packaging. Applied Surface Science
68. Grimmer, D; Lopp, R; Martin-Martinez, E. (2021) Dimensional reduction of cavities with axial symmetry: A complete analysis of when an optical fiber is approximately one dimensional. Physical Review A
69. Andriamirado, M; Balantekin, AB; Band, HR; Bass, CD; Bergeron, DE; Bowden, NS; Bryan, CD; Classen, T; Conant, AJ; Deichert, G; Diwan, MV; Dolinski, MJ; Erickson, A; Foust, BT; Gaison, JK; Galindo-Uribarri, A; Gilbert, CE; Hans, S; Hansell, AB; Heeger, KM; Heffron, B; Jaffe, DE; Jayakumar, S; Ji, X; Jones, DC; Koblanski, J; Kzylova, O; Lane, CE; Langford, TJ; LaRosa, J; Littlejohn, BR; Lu, X; Maricic, J; Mendenhall, MP; Meyer, AM; Milincic, R; Mueller, PE; Mumm, HP; Napolitano, J; Neilson, R; Nikkel, JA; Nour, S; Palomino, JL; Pushin, DA; Qian, X; Rosero, R; Surukuchi, PT; Tyra, MA; Varner, RL; Venegas-Vargas, D; Weatherly, PB; White, C; Wilhelmi, J; Woolverton, A; Yeh, M; Zhang, C; Zhang, X; Cappiello, CV. (2021) Limits on sub-GeV dark matter from the PROSPECT reactor antineutrino experiment. Physical Review D
70. Deimert, C; Wasilewski, ZR. (2021) Precise control of time-varying effusion cell flux in molecular beam epitaxy. Journal Of Vacuum Science & Technology A
71. Guo, XY; Jin, WC; Ye, ZP; Ye, GH; Xie, HC; Yang, BW; Kim, HH; Yan, SH; Fu, Y; Tian, SJ; Lei, HC; Tsen, AW; Sun, K; Yan, JA; He, R; Zhao, LY. (2021) Structural Monoclinicity and Its Coupling to Layered Magnetism in Few-Layer CrI3. ACS Nano
72. Tjoa, E; Lopez-Gutierrez, I; Sachs, A; Martin-Martinez, E. (2021) What makes a particle detector click. Physical Review D
73. Winick, A; Wallman, JJ; Emerson, J. (2021) Simulating and Mitigating Crosstalk. Physical Review Letters
74. Ferguson, RR; Dellantonio, L; Al Balushi, A; Jansen, K; Dur, W; Muschik, CA. (2021) Measurement-Based Variational Quantum Eigensolver. Physical Review Letters
75. Quintavalle, AO; Vasmer, M; Roffe, J; Campbell, ET. (2021) Single-Shot Error Correction of Three-Dimensional Homological Product Codes. PRX Quantum
76. Beverland, ME; Kubica, A; Svore, KM. (2021) Cost of Universality: A Comparative Study of the Overhead of State Distillation and Code Switching with Color Codes. PRX Quantum
77. Kribs, DW; Mammarella, D; Pereira, R. (2021) ISOCLINIC SUBSPACES AND QUANTUM ERROR CORRECTION. Operators And Matrices
78. Beale, SJ; Wallman, JJ. (2021) Efficiently computing logical noise in quantum error-correcting codes. Physical Review A
79. Majidy, S; Halliwell, JJ; Laflamme, R. (2021) Detecting violations of macrorealism when the original Leggett-Garg inequalities are satisfied. Physical Review A



80. Hayashi, M; Fang, K; Wang, K. (2021) Finite Block Length Analysis on Quantum Coherence Distillation and Incoherent Randomness Extraction. *IEEE Transactions On Information Theory*
81. Leung, D; Winter, A; Yu, NK. (2021) LOCC protocols with bounded width per round optimize convex functions. *Reviews In Mathematical Physics*
82. Fatin, MAR; Sajeed, S. (2021) Generalized efficiency mismatch attack to bypass the detection-scrambling countermeasure. *Optics Express*
83. Sudhir, V; Stritzelberger, N; Kempf, A. (2021) Unruh effect of detectors with quantized center of mass. *Physical Review D*
84. Novodchuk, I; Kayaharman, M; Ausri, IR; Karimi, R; Tang, XS; Goldthorpe, IA; Abdel-Rahman, E; Sanderson, J; Bajcsy, M; Yavuz, M. (2021) An ultrasensitive heart-failure BNP biosensor using B/N co-doped graphene oxide gel FET. *Biosensors & Bioelectronics*
85. Simidzija, P; Kempf, A; Martin-Martinez, E. (2021) Gravitational wave emission from the CMB and other thermal fields. *Physics Letters B*
86. Holcomb, A; Pereira, G; Das, B; Mosca, M. (2021) PQFabric: A Permissioned Blockchain Secure from Both Classical and Quantum Attacks. *2021 IEEE International Conference On Blockchain And Cryptocurrency (ICBC)*
87. Gong, NF; Wang, TJ; Ghose, S. (2021) Control power of a high-dimensional controlled nonlocal quantum computation. *Physical Review A*
88. Kubica, A; Demkowicz-Dobrzanski, R. (2021) Using Quantum Metrological Bounds in Quantum Error Correction: A Simple Proof of the Approximate Eastin-Knill Theorem. *Physical Review Letters*
89. Monroe, C; Campbell, WC; Duan, LM; Gong, ZX; Gorshkov, AV; Hess, PW; Islam, R; Kim, K; Linke, NM; Pagano, G; Richerme, P; Senko, C; Yao, NY. (2021) Programmable quantum simulations of spin systems with trapped ions. *Reviews Of Modern Physics*
90. Upadhyaya, T; van Himbeeck, T; Lin, J; Lütkenhaus, N. (2021) Dimension Reduction in Quantum Key Distribution for Continuous- and Discrete-Variable Protocols. *PRX Quantum*
91. Mazurek, MD; Pusey, MF; Resch, KJ; Spekkens, RW. (2021) Experimentally Bounding Deviations From Quantum Theory in the Landscape of Generalized Probabilistic Theories. *PRX Quantum*
92. Kribs, DW; Levick, J; Nelson, M; Pereira, R; Rahaman, M. (2021) APPROXIMATE QUASI-ORTHOGONALITY OF OPERATOR ALGEBRAS AND RELATIVE QUANTUM PRIVACY. *Reports On Mathematical Physics*
93. Cabrera, R; Campos, AG; Bondar, DI; MacLean, S; Fillion-Gourdeau, F. (2021) Explicit volume-preserving numerical schemes for relativistic trajectories and spin dynamics. *Physical Review E*
94. Tabatabaei, S; Haas, H; Rose, W; Yager, B; Piscitelli, M; Sahafi, P; Jordan, A; Poole, PJ; Dalacu, D; Budakian, R. (2021) Numerical Engineering of Robust Adiabatic Operations. *Physical Review Applied*
95. Anwar, A; Perumangatt, C; Steinlechner, F; Jennewein, T; Ling, A. (2021) Entangled photon-pair sources based on three-wave mixing in bulk crystals. *Review Of Scientific Instruments*
96. Tehrani, A; Pereira, R. (2021) The coherent information on the manifold of positive definite density matrices. *Journal Of Mathematical Physics*
97. Ryou, A; Whitehead, J; Zhelyeznyakov, M; Anderson, P; Keskin, C; Bajcsy, M; Majumdar, A. (2021) Free-space optical neural network based on thermal atomic nonlinearity. *Photonics Research*
98. Alonso-Serrano, A; Tjoa, E; Garay, LJ; Martin-Martinez, E. (2021) The time traveler's guide to the quantization of zero modes. *Journal Of High Energy Physics*
99. Tiwari, A; Chen, FC; Zhong, SZ; Drueke, E; Koo, J; Kaczmarek, A; Xiao, C; Gao, JJ; Luo, X; Niu, Q; Sun, YP; Yan, BH; Zhao, LY; Tsen, AW. (2021) Giant c-axis nonlinear anomalous Hall effect in T-d-MoTe₂ and WTe₂. *Nature Communications*
100. Heacock, B; Fujiie, T; Haun, RW; Henins, A; Hirota, K; Hosobata, T; Huber, MG; Kitaguchi, M; Pushin, DA; Shimizu, H; Takeda, M; Valdillez, R; Yamagata, Y; Young, AR. (2021) Pendellosung interferometry probes the neutron charge radius, lattice dynamics, and fifth forces. *Science*
101. Niknam, M; Santos, LF; Cory, DG. (2021) Experimental Detection of the Correlation Renyi Entropy in the Central Spin Model. *Physical Review Letters*
102. Li, ZH; Zhang, YC; Li, XK; Gu, FC; Zhang, LQ; Liu, HJ; Xia, QT; Li, QH; Ye, WN; Ge, C; Li, HS; Hu, H; Li, SD; Long, YZ; Yan, SS; Miao, GX; Li, Q. (2021) Reacquainting the Electrochemical Conversion Mechanism of FeS₂ Sodium-Ion Batteries by Operando Magnetometry. *Journal Of The American Chemical Society*
103. Kan, A; Funcke, L; Kuhn, S; Dellantonio, L; Zhang, JL; Haase, JF; Muschik, CA; Jansen, K. (2021) Investigating a (3+1)D topological theta-term in the Hamiltonian formulation of lattice gauge theories for quantum and classical simulations. *Physical Review D*
104. Kaur, E; Das, S; Wilde, MM; Winter, A. (2021) Resource theory of unextendibility and nonasymptotic quantum capacity. *Physical Review A*
105. Zhao, XY; Feng, JY; Xiao, M; Shen, DZ; Tan, CW; Song, XG; Feng, JC; Duley, WW; Zhou, YN. (2021) A Simple High Power, Fast Response Streaming Potential/Current-Based Electric Nanogenerator Using a Layer of Al₂O₃ Nanoparticles. *ACS Applied Materials & Interfaces*



106. Bandyopadhyay, M; Ghosh, S; Dubey, A; Bedkihal, S. (2021) Flux dependent current rectification in geometrically symmetric interconnected triple-dot Aharonov-Bohm interferometer*. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*
107. Kang, DD; Gross, A; Yang, HB; Morita, Y; Choi, KS; Yoshioka, K; Kim, NY. (2021) Temperature study of Rydberg exciton optical properties in Cu₂O. *Physical Review B*
108. George, I; Lin, J; Lütkenhaus, N. (2021) Numerical calculations of the finite key rate for general quantum key distribution protocols. *Physical Review Research*
109. Mukhopadhyay, P. (2021) Composability of global phase invariant distance and its application to approximation error management. *Journal Of Physics Communications*
110. Coutts, B; Girard, M; Watrous, J. (2021) Certifying optimality for convex quantum channel optimization problems. *Quantum*
111. Mukhopadhyay, P. (2021) Faster Provable Sieving Algorithms for the Shortest Vector Problem and the Closest Vector Problem on Lattices in $l(p)$ Norm. *Algorithms*
112. Frey, V; Rademacher, R; Durso-Sabina, E; Greenberg, N; Videnov, N; Day, ML; Islam, R; Senko, C. (2021) A Quantum Computing Programming Language for Transparent Experiment Descriptions. 2021 IEEE International Conference On Quantum Computing And Engineering (QCE 2021) / Quantum Week 2021
113. Gustafson, E; Holzman, B; Kowalkowski, J; Lamm, H; Li, ACY; Perdue, G; Isakov, SV; Martin, O; Thomson, R; Beall, J; Ganahl, M; Vidal, G; Peters, E; Boixo, S. (2021) Large scale multi-node simulations of Z(2) gauge theory quantum circuits using Google Cloud Platform. *Proceedings Of Second International Workshop On Quantum Computing Software (QCS 2021)*
114. Qassim, H; Pashayan, H; Gosset, D. (2021) Improved upper bounds on the stabilizer rank of magic states. *Quantum*
115. de Ramon, J; Papageorgiou, M; Martin-Martinez, E. (2021) Relativistic causality in particle detector models: Faster-than-light signaling and impossible measurements. *Physical Review D*
116. Bejanin, JH; Earnest, CT; Sharafeldin, AS; Mariantoni, M. (2021) Interacting defects generate stochastic fluctuations in superconducting qubits. *Physical Review B*
117. Schmid, D; Du, HX; Mudassar, M; Coulter-de Wit, G; Rosset, D; Hoban, MJ. (2021) Postquantum common-cause channels: the resource theory of local operations and shared entanglement. *Quantum*
118. Le Bris, K; MacDougall, CY; Godin, PJ; Strong, K. (2021) Absorption cross-sections, radiative efficiency and global warming potential of HFE-347pcf2 (1,1,2,2-tetrafluoroethyl 2,2,2-trifluoroethyl ether). *Journal Of Molecular Spectroscopy*
119. LeGrow, JT; Hutchinson, A. (2021) (Short Paper) Analysis of a Strong Fault Attack on Static/Ephemeral CSIDH. *Advances In Information And Computer Security, IWSEC 2021*
120. Haase, JF; Dellantonio, L; Celi, A; Paulson, D; Kan, A; Jansen, K; Muschik, CA. (2021) A resource efficient approach for quantum and classical simulations of gauge theories in particle physics. *Quantum*
121. Passer, B; Paulsen, VI. (2021) MATRIX RANGE CHARACTERIZATIONS OF OPERATOR SYSTEM PROPERTIES. *Journal Of Operator Theory*
122. Cully, JJ; Swett, JL; Willick, K; Baugh, J; Mol, JA. (2021) Graphene nanogaps for the directed assembly of single-nanoparticle devices. *Nanoscale*
123. Cho, CH; Chen, CY; Chen, KC; Huang, TW; Hsu, MC; Cao, NP; Zeng, B; Tan, SG; Chang, CR. (2021) Quantum computation: Algorithms and Applications. *Chinese Journal Of Physics*
124. Kogan, E; Shi, Z. (2021) Poor man's scaling: XYZ Coqblin-Schrieffer model revisited. *Journal Of Statistical Mechanics-Theory And Experiment*
125. Long, GF; Xue, Q; Li, Q; Shi, Y; Li, L; Cheng, L; Li, P; Zhang, JW; Zhang, XX; Guo, HZ; Fu, J; Li, SD; Moodera, JS; Miao, GX. (2021) Interfacial Control via Reversible Ionic Motion in Battery-Like Magnetic Tunnel Junctions. *Advanced Electronic Materials*
126. Dai, X; Tennant, DM; Trappen, R; Martinez, AJ; Melanson, D; Yurtalan, MA; Tang, Y; Novikov, S; Grover, JA; Disseler, SM; Basham, JI; Das, R; Kim, DK; Melville, AJ; Niedzielski, BM; Weber, SJ; Yoder, JL; Lidar, DA; Lupascu, A. (2021) Calibration of Flux Crosstalk in Large-Scale Flux-Tunable Superconducting Quantum Circuits. *PRX Quantum*
127. Arnon-Friedman, R; Leditzky, F. (2021) Upper Bounds on Device-Independent Quantum Key Distribution Rates and a Revised Peres Conjecture. *IEEE Transactions On Information Theory*
128. Seddon, JR; Regula, B; Pashayan, H; Ouyang, YK; Campbell, ET. (2021) Quantifying Quantum Speedups: Improved Classical Simulation From Tighter Magic Monotones. *PRX Quantum*
129. Ansari, V; Brecht, B; Gil-Lopez, J; Donohue, JM; Rehacek, J; Hradil, Z; Sanchez-Soto, LL; Silberhorn, C. (2021) Achieving the Ultimate Quantum Timing Resolution. *PRX Quantum*
130. Burbano, IM; Perche, TR; Torres, BDL. (2021) A path integral formulation for particle detectors: the Unruh-DeWitt model as a line defect. *Journal Of High Energy Physics*
131. Sang, T; Zhang, SH; Zhao, GX; Geng, CZ; Jin, ZJ; Zong, WH; Cao, DR; Xu, J; Wang, X; Miao, GX; Li, SD. (2021) Magnetic moment configuration: One of decisive factors to enhance the optical mode resonance in interlayer exchange coupled trilayers. *Journal Of Alloys And Compounds*
132. Li, SY; Fu, J; Miao, GX; Wang, SP; Zhao, WY; Wu, ZC; Zhang, YJ; Yang, XW. (2021) Toward Planar and Dendrite-Free Zn Electrodepositions by Regulating Sn-Crystal Textured Surface. *Advanced Materials*



133. Adkar-Purushothama, CR; Iyer, PS; Sano, T; Perreault, JP. (2021) sRNA Profiler: A User-Focused Interface for Small RNA Mapping and Profiling. *Cells*
134. Naibert, TR; Polshyn, H; Garrido-Menacho, R; Durkin, M; Wolin, B; Chua, V; Mondragon-Shem, I; Hughes, T; Mason, N; Budakian, R. (2021) Imaging and controlling vortex dynamics in mesoscopic superconductor-normal-metal-superconductor arrays. *Physical Review B*
135. Xu, YL; Wang, C; Shi, Y; Miao, GX; Fu, J; Huang, YH. (2021) A self-preserving pitted texture enables reversible topographic evolution and cycling on Zn metal anodes. *Journal Of Materials Chemistry A*
136. Liu, Y; Li, XK; Zhang, FL; Long, GF; Fan, ST; Zheng, Y; Ye, WN; Li, QH; Wang, X; Li, HS; Hu, H; Li, Q; Kong, WJ; Miao, GX. (2021) Fe, N co-doped amorphous carbon as efficient electrode materials for fast and stable Na/K-storage. *Electrochimica Acta*
137. Bourassa, JE; Alexander, RN; Vasmer, M; Patil, A; Tzitrin, I; Matsuura, T; Su, DQ; Baragiola, B; Guha, S; Dauphinais, G; Sabapathy, KK; Menicucci, NC; Dhand, I. (2021) Blueprint for a Scalable Photonic Fault-Tolerant Quantum Computer. *Quantum*
138. Wang, HZ; Singh, S; McRae, CRH; Bardin, JC; Lin, SX; Messaoudi, N; Castelli, AR; Rosen, YJ; Holland, ET; Pappas, DP; Mutus, JY. (2021) Cryogenic single-port calibration for superconducting microwave resonator measurements. *Quantum Science And Technology*
139. Vanrietvelde A., Chiribella G.. (2021) Universal control of quantum processes using sector-preserving channels. *Quantum Information And Computation*
140. Wilson M., Chiribella G.. (2021) Causality in higher order process theories. *Electronic Proceedings In Theoretical Computer Science, EPTCS*
141. Wilson M., Chiribella G.. (2021) A diagrammatic approach to information transmission in generalised switches. *Electronic Proceedings In Theoretical Computer Science, EPTCS*
142. Powell J., Payeur S., Fourmaux S., Ibrahim H., Kieffer J.C., MacLean S., Legare F.. (2021) 100 keV Electron Beam Generation by Direct Laser Acceleration using Longitudinal Electric Fields. *2021 Conference On Lasers And Electro-Optics, CLEO 2021 - Proceedings*
143. Gross A., Yang H., Kang D.D., Morita Y., Choi K.-S., Yoshioka K., Kim N.Y.. (2021) Temperature dependent scaling laws of Rydberg excitons in Cu₂O. *2021 Conference On Lasers And Electro-Optics, CLEO 2021 - Proceedings*
144. Anderson P., Bharadwaj D., Maruf R.A., Qiu J., Yuan Y., Semnani B., Reimer M., Bajcsy M.. (2021) Generating single photon pulses from a quantum dot using a continuous wave laser and an electro-optic modulator. *2021 Conference On Lasers And Electro-Optics, CLEO 2021 - Proceedings*
145. Lee Y.S., Xie M., Tannous R., Jennewein T.. (2021) Sagnac-type entangled photon source using only conventional polarization optics. *Quantum Science And Technology*
146. Polo-Gomez, J; Garay, LJ; Martin-Martinez, E. (2022) A detector-based measurement theory for quantum field theory. *Physical Review D*
147. Grabowecky, MJ; Pollack, CAJ; Cameron, AR; Spekkens, RW; Resch, KJ. (2022) Experimentally bounding deviations from quantum theory for a photonic three-level system using theory-agnostic tomography. *Physical Review A*
148. Tjoa, E; Mann, RB. (2022) Unruh-DeWitt detector in dimensionally-reduced static spherically symmetric spacetimes. *Journal Of High Energy Physics*
149. Lee, YS; Mohammadi, K; Babcock, L; Higgins, BL; Podmore, H; Jennewein, T. (2022) Robotized polarization characterization platform for free-space quantum communication optics. *Review Of Scientific Instruments*
150. Anshu, A; Leung, D; Touchette, D. (2022) Incompressibility of Classical Distributions. *IEEE Transactions On Information Theory*
151. Shetty, A; Sfigakis, F; Mak, WY; Das Gupta, K; Buonacorsi, B; Tam, MC; Kim, HS; Farrer, I; Croxall, AF; Beere, HE; Hamilton, AR; Pepper, M; Austing, DG; Studenikin, SA; Sachrajda, A; Reimer, ME; Wasilewski, ZR; Ritchie, DA; Baugh, J. (2022) Effects of biased and unbiased illuminations on two-dimensional electron gases in dopant-free GaAs/AlGaAs. *Physical Review B*
152. Wang, DS; Wang, YJ; Cao, NP; Zeng, B; Laflamme, R. (2022) Theory of quasi-exact fault-tolerant quantum computing and valence-bond-solid codes. *New Journal Of Physics*
153. Nahman-Levesque, O; Sarenac, D; Cory, DG; Heacock, B; Huber, MG; Pushin, DA. (2022) Generalizing the quantum information model for dynamic diffraction. *Physical Review A*
154. Mukhopadhyay, P. (2022) The Projection Games Conjecture and the hardness of approximation of super-SAT and related problems. *Journal Of Computer And System Sciences*
155. Robbins, MPG; Henderson, LJ; Mann, RB. (2022) Entanglement amplification from rotating black holes. *Classical And Quantum Gravity*
156. Abulkasim, H; Mashatan, A; Ghose, S. (2022) Security improvements for privacy-preserving quantum multiparty computation based on circular structure. *Quantum Information Processing*
157. Gunderman, LG; Stasiuk, A; El Mandouh, M; Borneman, TW; Cory, DG. (2022) Lamb shift statistics in mesoscopic quantum ensembles. *Quantum Information Processing*
158. Yang, HB; Robitaille, M; Chen, XS; Elgabra, H; Wei, L; Kim, NY. (2022) Random Telegraph Noise of a 28-nm Cryogenic MOSFET in the Coulomb Blockade Regime. *IEEE Electron Device Letters*



159. Mosca, M; Mukhopadhyay, P. (2022) A polynomial time and space heuristic algorithm for T-count. *Quantum Science And Technology*
160. An, FP; Andriamirado, M; Balantekin, AB; Band, HR; Bass, CD; Bergeron, DE; Berish, D; Bishai, M; Blyth, S; Bowden, NS; Bryan, CD; Cao, GF; Cao, J; Chang, JF; Chang, Y; Chen, HS; Chen, SM; Chen, Y; Chen, YX; Cheng, J; Cheng, ZK; Cherwinka, JJ; Chu, MC; Classen, T; Conant, AJ; Cummings, JP; Dalager, O; Deichert, G; Delgado, A; Deng, FS; Ding, YY; Diwan, MV; Dohnal, T; Dolinski, MJ; Dolzhikov, D; Dove, J; Dwyer, DA; Erickson, A; Foust, BT; Gaison, JK; Galindo-Uribarri, A; Gallo, JP; Gilbert, CE; Gonchar, M; Gong, GH; Gong, H; Grassi, M; Gu, WQ; Guo, JY; Guo, L; Guo, XH; Guo, YH; Guo, Z; Hackenburg, RW; Hans, S; Hansell, AB; He, M; Heeger, KM; Heffron, B; Heng, YK; Hor, YK; Hsiung, YB; Hu, BZ; Hu, JR; Hu, T; Hu, ZJ; Huang, HX; Huang, JH; Huang, XT; Huang, YB; Huber, P; Koblanski, J; Jaffe, DE; Jayakumar, S; Jen, KL; Ji, XL; Ji, XP; Johnson, RA; Jones, DC; Kang, L; Kettell, SH; Kohn, S; Kramer, M; Kyzlyova, O; Lane, CE; Langford, TJ; LaRosa, J; Lee, J; Lee, JHC; Lei, RT; Leitner, R; Leung, JKC; Li, F; Li, HL; Li, JJ; Li, QJ; Li, RH; Li, S; Li, SC; Li, WD; Li, XN; Li, XQ; Li, YF; Li, ZB; Liang, H; Lin, CJ; Lin, GL; Lin, S; Ling, JJ; Link, JM; Littenberg, L; Littlejohn, BR; Liu, JC; Liu, JL; Liu, JX; Lu, C; Lu, HQ; Lu, X; Luk, KB; Ma, BZ; Ma, XB; Ma, XY; Ma, YQ; Mandujano, RC; Maricic, J; Marshall, C; McDonald, KT; McKeown, RD; Mendenhall, MP; Meng, Y; Meyer, AM; Milincic, R; Mueller, PE; Mumm, HP; Napolitano, J; Naumov, D; Naumova, E; Neilson, R; Nguyen, TMT; Nikkel, JA; Nour, S; Ochoa-Ricoux, JP; Olshevskiy, A; Palomino, JL; Pan, HR; Park, J; Patton, S; Peng, JC; Pun, CSJ; Pushin, DA; Qi, FZ; Qi, M; Qian, X; Raper, N; Ren, J; Revoco, CM; Rosero, R; Roskovec, B; Ruan, XC; Searles, M; Steiner, H; Sun, JL; Surukuchi, PT; Tmej, T; Treskov, K; Tse, WH; Tull, CE; Tyra, MA; Varner, RL; Venegas-Vargas, D; Viren, B; Vorobel, V; Wang, CH; Wang, J; Wang, M; Wang, NY; Wang, RG; Wang, W; Wang, W; Wang, X; Wang, Y; Wang, YF; Wang, Z; Wang, Z; Wang, ZM; Weatherly, PB; Wei, HY; Wei, LH; Wen, LJ; Whisnant, K; White, C; Wilhelmi, J; Wong, HLH; Woolverton, A; Worcester, E; Wu, DR; Wu, FL; Wu, Q; Wu, WJ; Xia, DM; Xie, ZQ; Xing, ZZ; Xu, HK; Xu, JL; Xu, T; Xue, T; Yang, CG; Yang, L; Yang, YZ; Yao, HF; Ye, M; Yeh, M; Young, BL; Yu, HZ; Yu, ZY; Yue, BB; Zavadskyi, V; Zeng, S; Zeng, Y; Zhan, L; Zhang, C; Zhang, FY; Zhang, HH; Zhang, JW; Zhang, QM; Zhang, SQ; Zhang, X; Zhang, XT; Zhang, YM; Zhang, YX; Zhang, YY; Zhang, ZJ; Zhang, ZP; Zhang, ZY; Zhao, J; Zhao, RZ; Zhou, L; Zhuang, HL; Zou, JH. (2022) Joint Determination of Reactor Antineutrino Spectra from U-235 and Pu-239 Fission by Daya Bay and PROSPECT. *Physical Review Letters*
161. Almazan, H; Andriamirado, M; Balantekin, AB; Band, HR; Bass, CD; Bergeron, DE; Bernard, L; Blanchet, A; Bonhomme, A; Bowden, NS; Bryan, CD; Buck, C; Classen, T; Conant, AJ; Deichert, G; Sanchez, PD; Delgado, A; Diwan, MV; Dolinski, MJ; El Atmani, I; Erickson, A; Foust, BT; Gaison, JK; Galindo-Uribarri, A; Gilbert, CE; Hans, S; Hansell, AB; Heeger, KM; Heffron, B; Jaffe, DE; Jayakumar, S; Ji, X; Jones, DC; Koblanski, J; Kyzlyova, O; Labit, L; Lamblin, J; Lane, CE; Langford, TJ; LaRosa, J; Letourneau, A; Lhuillier, D; Licciardi, M; Lindner, M; Littlejohn, BR; Lu, X; Maricic, J; Materna, T; Mendenhall, MP; Meyer, AM; Milincic, R; Mueller, PE; Mumm, HP; Napolitano, J; Neilson, R; Nikkel, JA; Nour, S; Palomino, JL; Pessard, H; Pushin, DA; Qian, X; Real, JS; Ricol, JS; Roca, C; Rogly, R; Rosero, R; Salagnac, T; Savu, V; Schoppmann, S; Searles, M; Sergeeva, V; Soldner, T; Stutz, A; Surukuchi, PT; Tyra, MA; Varner, RL; Venegas-Vargas, D; Vialat, M; Weatherly, PB; White, C; Wilhelmi, J; Woolverton, A; Yeh, M; Zhang, C; Zhang, X. (2022) Joint Measurement of the U-235 Antineutrino Spectrum by PROSPECT and STEREO. *Physical Review Letters*
162. Fang, K; Liu, ZW. (2022) No-Go Theorems for Quantum Resource Purification: New Approach and Channel Theory. *PRX Quantum*
163. Fillion-Gourdeau, F. (2022) Quantum Algorithms for Quantum and Classical Time-Dependent Partial Differential Equations. *Ercim News*
164. Sarenac, D; Silva, AE; Kapahi, C; Cory, DG; Thompson, B; Pushin, DA. (2022) Human psychophysical discrimination of spatially dependant Pancharatnam-Berry phases in optical spin-orbit states. *Scientific Reports*
165. Davidson, K; Paulsen, V. (2022) Tensor products of C^* -algebras and operator spaces. *Bulletin Of The American Mathematical Society*
166. Webster, P; Vasmer, M; Scruby, TR; Bartlett, SD. (2022) Universal fault-tolerant quantum computing with stabilizer codes. *Physical Review Research*
167. Zhou, AR; Li, YZ; Zhang, SH; Huang, YC; Xue, Q; Wang, L; Zhao, GX; Cao, DR; Xu, J; Jin, ZJ; Zong, WH; Wang, X; Li, SD; Miao, GX. (2022) Electric-field tunable rotation of optical mode ferromagnetic resonance in FeCoB/Ru/FeCoB/PMN-PT multilayers. *Journal Of Alloys And Compounds*
168. Gross, JA; Caves, CM; Milburn, GJ; Combes, J. (2022) Qubit models of weak continuous measurements: Markovian conditional and open-system dynamics (vol 3, 024005, 2018). *Quantum Science And Technology*
169. Halpern, NY; Majidy, S. (2022) How to build Hamiltonians that transport noncommuting charges in quantum thermodynamics. *Npj Quantum Information*
170. Asfaw, A; Blais, A; Brown, KR; Candelaria, J; Cantwell, C; Carr, LD; Combes, J; Debroy, DM; Donohue, JM; Economou, SE; Edwards, E; Fox, MFJ; Girvin, SM; Ho, A; Hurst, HM; Jacob, Z; Johnson, BR; Johnston-Halperin, E; Joynt, R; Kapit, E; Klein-Seetharaman, J; Laforest, M; Lewandowski, HJ; Lynn, TW; McRae, CRH; Merzbacher, C; Michalakis, S; Narang, P; Oliver, P; Palsberg, J; Pappas, DP; Raymer, MG; Reilly, DJ; Saffman, M; Searles, TA; Shapiro, JH; Singh, C. (2022) Building a Quantum Engineering Undergraduate Program. *IEEE Transactions On Education*

171. Son H., Park J.J., Lu Y.-K., Jamison A.O., Karman T., Ketterle W.. (2022) Control of reactive collisions by quantum interference. *Science*
172. White B.M., Low P.J., De Sereville Y., Day M.L., Greenberg N., Rademacher R., Senko C.. (2022) Isotope-selective laser ablation ion-trap loading of Ba + 137 using a BaCl₂ target. *Physical Review A*

C. Professeurs, professeurs-chercheurs adjoints et associés de recherche

Professeurs

Michal Bajcsy
Jonathan Baugh
Raffi Budakian
Shalev Ben-David
Kyung Soo Choi
Richard Cleve
David Cory
Joseph Emerson
David Gosset
Alan Jamison
Thomas Jennewein
Na Young Kim
Raymond Laflamme
Debbie Leung
Adrian Lupascu
Norbert Lütkenhaus
Matteo Mariani
Guo-Xing Miao
Michele Mosca
Christine Muschik
Ashwin Nayak
Vern Paulsen (Retired – July 2021)
Dmitry Pushin
K. Rajibul Islam
Michael Reimer
Kevin Resch
Crystal Senko
William Slofstra
Adam Wei Tsen
Joel Wallman (Start-up absorbed, left to Industry June 2021)
John Watrous
Christopher Wilson
Jon Yard

Professeurs-chercheurs adjoints

Pooya Ronagh
Francoise Sfigakis

Associés de recherche

Yasar Atas
Alexandre Cooper- Roy
Matthew Day
Dmytro Dubyna
Vlad Gheorghiu
Jan Haase
Brendon Higgins
Joanna Krynski
Katanya Kuntz
Benjamin MacLellan
Shravan Mishra
Kimia Mohammadi
Bill Munson
Brian Neill
George Nichols
Ibrahim Nsanzineza
Geovandro Pereira
Michele Piscitelli
Sadegh Raeisi
Vinodh Raj Rajagopal Muthu
Mahmood Sabooni
Dusan Sarenac
Behrooz Semnani
Nigar Sultana
Goutam Tamvada
Kaiduan Xie
Ben Yager

D. Collaborations – Du 1^{er} avril 2021 au 31 mars 2022

Professeur	Institution ou entreprise
Michal Bajcsy	Martin Houde, Université Western, Canada
	D ^r E. Diamantis et D ^r I. Prassas , Hôpital Mount Sinai, Canada
	P. Poole, Ph.D., et D. Dalacu, Ph.D., Conseil national de recherches du Canada
	Fetah Benabid, Institut de recherche XLIM, Limoges, France
	Philippe Tassin, Université de technologie Chalmers, Suède
	Prof. Konstantinos Lagoudakis, Université de Strathclyde, Royaume-Uni
	Prof. Arka Majumdar, Université de l'État de Washington, États-Unis
	Retego Labs, États-Unis
Jon Baugh	Conseil national de recherches du Canada
	Kennedy Labs (entreprise de production de matériaux 2D et de dispositifs connexes), Brian Kennedy, président, Guelph, Canada
	Prof. Bhaskaran Muralidharan, Département de génie électrique, Institut indien de technologie de Bombay, Inde
	Prof. Aharon Blank (programme conjoint de recherche de Technion financé par la Fondation Gerald-Schwartz-et-Heather-Reisman), Technion, Institut de technologie d'Israël
	Équipe du prof. Andrew Brigg (Département des matériaux), Université d'Oxford, Royaume-Uni
Raffi Budakian	Dan Dalacu, Conseil national de recherches du Canada
	Martino Poggio, Université de Bâle, Suisse
David Cory	Laboratoire d'idées de la <i>Quantum Valley</i> , Canada
	Centre de sciences quantiques, États-Unis
Joseph Emerson	Subvention du Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis, avec l'Université d'Innsbruck, Autriche, comme récipiendaire principal
David Gosset	Institut Périmètre de physique théorique, Canada
	ICRA, Canada
	Technion, Institut de technologie d'Israël
	Institut de technologie du Massachusetts, États-Unis
	Université de la Californie à Berkeley, États-Unis
	IBM Research, États-Unis
	Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis
	Keysight Technologies, États-Unis
Rajibul Islam	Institut Périmètre de physique théorique, Canada
	Crystal Senko, Université de Waterloo, Canada
	Sougato Bose, Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni
	Zhexuan Gong, École des mines du Colorado, États-Unis
Alan Jamison	CRSNG, Canada
	Laboratoire Ketterle, États-Unis



Thomas Jennewein	Université d’Innsbruck, Autriche
	Université de Vienne, Autriche
	DotFAST, Autriche
	Agence spatiale canadienne, Canada
	CRSNG, Canada
	Conseil national de recherches du Canada
	FCI, Canada
	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
	Excelitas (anciennement Perkin Elmer), Canada
	Agence spatiale canadienne
	Institut national d’optique (INO), Canada
	Xiphos, Canada
	Neptec, Canada
	Université McMaster, Canada
	Institut Fraunhofer, Allemagne
	École polytechnique de Milan, Italie
	Université de Padoue, Italie
	Université nationale de 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	Université de Waterloo, Canada
Raymond Laflamme	Quantum Valley Investments, Canada
	Institut Périmètre de physique théorique, Canada
	ICRA, Canada
	Keysight technologies, Canada
	Institut quantique, Sherbrooke, Canada
	Institut d’algorithmique quantique, Colombie-Britannique, Canada
	Université de Guelph, Canada
	Université des sciences et technologies de Hong Kong, Chine
	Dawei Lu, Sustech, Chine
	Technion, Institut de technologie d’Israël



	Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni
	Phasecraft, Royaume-Uni
	Collège impérial de Londres, Royaume-Uni
	Université de la Californie à Berkeley, États-Unis
	Université du Tennessee, États-Unis
	Département de la Sécurité intérieure, États-Unis
Debbie Leung	Université de technologie de Sydney, Australie
	Université de Sherbrooke, Canada
	Université de Guelph, Canada
	Institut Périmètre de physique théorique, Canada
	Université de Toronto, Canada
	Université autonome de Barcelone, Espagne
	Université de Cambridge, Royaume-Uni
	Université du Maryland, États-Unis
	IBM, États-Unis
	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, États-Unis
	Université du Colorado à Boulder, États-Unis
	Université Duke, États-Unis
	Université de la Californie à Berkeley, États-Unis
	Université de Nanjing, Chine
Collège de William et Mary, États-Unis	
Adrian Lupascu	Canada Microfabrication Corporation (CMC), Canada
	MITACS, Canada
	Milena Grifoni, Institut de physique théorique, Université de Ratisbonne, Allemagne
	Juan Jose Garcia Ripoll, Institut de physique fondamentale, Espagne
	DARPA, États-Unis
	MIT, États-Unis
Norbert Lütkenhaus	IARPA, DARPA et Université de la Californie du Sud, États-Unis
	Thomas Jennewein, Université de Waterloo, Canada
	Michele Mosca, Université de Waterloo, Canada
	Xiongfeng Ma, Université Tsinghua, Chine
	Christoph Marquardt, Institut Max-Planck des sciences de la lumière, Allemagne
	Institut fédéral suisse de technologie (ETH) de Zurich, Suisse
Daniel Gauthier, Ohio, États-Unis	
Michele Mosca	Réseau intégré sur la cybersécurité (SERENE-RISC), Canada
	Global Risk Institute, Toronto, Canada
	QEYnet, Canada
	Crypto4a, Canada
	Creative Destruction Lab, Canada



	Groupe RHEA Canada
	Laboratoire de recherche, Institut japonais de technologie
	Centre de technologies quantiques, Université nationale de Singapour
	CERN, Suisse
	Transumtex, Suisse
	Université de Bristol, Royaume-Uni
	KETS Quantum Security, Royaume-Uni
	Institut national des normes et de la technologie des États-Unis (NIST)
	JPMorgan Chase, États-Unis
Christine Muschik	Peter Zoller et Rainer Blatt, Institut d'optique et d'information quantiques (IQOQI), Autriche
	Wolfgang Dür, Université d'Innsbruck, Autriche
	Robert Meyers, Institut Périphère de physique théorique (Qfun), Canada
	Randy Lewis, Université York, Canada
	Karl Jansen, DESY, Allemagne
	Alessio Celi, Université autonome de Barcelone, Espagne
Ashwin Nayak	Anurag Anshu, Université Harvard, États-Unis
	Dave Touchette, Université de Sherbrooke, Canada
	IRIF, Université de Paris, France
	Frederic Magniez, CNRS et Université de Paris, France
	Jędrzej Kaniewski, Université de Varsovie, Pologne
	Rahul Jain, Centre de technologies quantiques, Université nationale de Singapour
	Máté Farkas, Institut de sciences photoniques, Espagne
	Henry Yuen, Université Columbia, États-Unis
Micheal Reimer	Single Quantum Systems, Canada
	Conseil national de recherches du Canada
	Université de Waterloo, Canada
	Université de technologie de Delft, Pays-Bas
	Institut royal de technologie (KTH), Suède
Kevin Resch	Conseil national de recherches du Canada
	Institut Périphère de physique théorique, Canada
	Université de Toronto, Canada
	Université de Guelph, Canada
William Slofsta	CRSNG, Canada
	Fondation Alfred-P.-Sloan, États-Unis
Adam Wei Tsen	Université McMaster, Canada
	Université Renmin de Chine
	Académie chinoise des sciences
	Université de Fribourg, Allemagne
	Université Goethe, Francfort, Allemagne



	Institut Weizmann des sciences, 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
	Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis
Joel Wallman	Stephen Bartlett, Université de Sydney, Australie
	Thomas Monz, Rainer Blatt et Philipp Schindler, Université d'Innsbruck, Autriche
	Markus Müller et David DiVincenzo, Université d'Aix-la-Chapelle, Allemagne
	Alejandro Bermúdez, Université Complutense de Madrid, Espagne
Jon Watrous	ICRA, Canada
	TQT et FERAC, Canada
	CRSNG, Canada
Chris Wilson	Prof. Ivette Fuentes, Université d'Autriche
	Qubic, Canada
	Prof. Enrique Solano, Université du Pays-Basque, Espagne
	Prof. Ozgur Mustecaplioglu, Université Koç, Istamboul, Turquie
	Jose Aumentado, Ph.D., NIST, Colorado, États-Unis
Jon Yard	Université de la Colombie-Britannique, Canada
	Université Simon-Fraser, Canada
	Université d'Ottawa, Canada
	Université de Gdansk, Pologne
	Laboratoire ibérique international de nanotechnologie, Espagne
	Université de Séville, Espagne
	Université de Grenade, Espagne
	Université de Stockholm, Suède
	Université Bilkent, Turquie
Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni	



E. Postdoctorants

Dmitry Akhmetzyanov	Srijita Kundu
Rubayet Al Maruf	Calum Macrae
Yasar Atas	Sarah McCarthy
Yosri Ayadi	Katie McDonnell
Jeremy Bejanin	Maryam Sadat Mirkamali
Adam Bene Watts	Priyanka Mukhopadhyay
Divya Bharadwaj	Ibrahim Nsanzineza
Nina Bindel	Hakop Pashayan
Xavier Bonnetain	Tarun Patel
Ningping Cao	Geovandro Pereira
Arnaud Carignan-Dugas	Kostyantyn Pichugin
Anirban Ch Narayan Chowdhury	Fereshteh Rajabi
Fangchu Chen	Pardis Sahafi
Matthew Day	Shihan Sajeed
Luca Dellantonio	Luke Schaeffer
Rahul Deshpande	Daozhi Shen
Dmytro Dubyna	Arjun Shetty
Huseyin Ekinci	Zheng Shi
Seyedeh Mozhddeh (Mojde) Fadaie	Dogan Sinar
Fatemeh Fani Sani	Ernest Tan
Samuele Ferracin	Lin Tian
Virginia Frey	Archana Tiwari
Matthew Graydon	Robbyn Trappen
Daniel Grier	Simon Vallières
Holger Haas	Thomas Van Himbeeck
Roland Habluetzel Marrero	Michael Vasmer
Sara Hosseini	Sasan Vosoogh-Grayli
Yonatan Hovav	Gaili Wang
Aaron Hutchinson	Wenyuan (Mike) Wang
Pavithran Iyer	Shun Yanai
Amin (Mohammadamin) Jahanpour	Rui Yang
Armin Jamshidpey	Sara Zafar Jafarzadeh
Hemant Katiyar	Mohd Zeeshan
Eneet Kaur	Jinglei Zhang
Aleksander Kubica	Wenyuan Zhang

F. Étudiants diplômés

Doctorants

Rubaya Absar	Nizar Messaoudi
Paul Anderson	Sainath Motlakunta
Amir Arqand	Shlok Nahar
Vahid Reza Asadi	Luke Neal
Stefanie Beale	Mike Nelson
Jeremy Bejanin	Paul Rev (Sung Eun) Oh
Emma (Annelise) Bergeron	Jae Jong Oh
Kristine Boone	Pablo Jaime Palacios Avila
John (Can) Bostanci	Maria Papageorgiou
Brendan Bramman	Abdolreza Pasharavesh
Jamal Busnaina	Tarun Patel
Andrew Cameron	Connor Paul-Paddock
Ningping Cao	Yawen Peng
Jiahui Chen	Guangyu Peng
Wan Cong	Evan Peters
Xi Dai	Kevin Piche
Padraig Daly	Jose Polo Gomez
Jack Davis	Pritam Priyadarsi
Gabriel Vinicius De Oliveira Silva	Richard Rademacher
Jose de Ramon Rivera	Annie Ray
Bruno De Souza Leao Torres	He (Ricky) Ren
Elijah Durso-Sabina	Tales Rick Perche
Matthew Duschenes	Cristina Rodriguez
Jesse Allister Kasian Elliott	Allison Sachs
Hosseini Erfan	Mai Sakuragi
TC Fraser	David Schmid
Sayan Gangopadhyay	Nachiket Sherlekar
Kaveh Gharavi	Yu (Jerry) Shi
Adina Goldberg	Chung-You (Gilbert) Shih
Sriram Gopalakrishnan	Sanchit Srivastava
Noah Greenberg	Nate Stemen
Lane Gunderman	Esha Swaroop
Stephen Harrigan	Sahand (Seyed) Tabatabaei
Melissa Henderson	Ramy Tannous
Rabiul Islam	Theerapat Tansuwannont



Aditya Jain	Adam Teixeira-Bonfill
Andrew Jena	Burak Tekcan
Lars Kamin	Yi Hong Teoh
Angus (Chi Hang) Kan	Archana Tiwari
Connor Kapahi	Erickson Tjoa
Nikhil Kotibhaskar	Kent Ueno
Bharat Kuchhal	Brad van Kasteren
Kohdai Kuroiwa	Sai Sreesh Venuturumilli
Youn Seok Lee	Guillaume Verdon-Akzam
Madelaine Liddy	Sebastian Verschoor
Jie Lin	Nikolay Videnov
Junan Lin	Stéphane Vinet
Li Liu	Sean Walker
Yinchen (Calvin) Liu	Samuel Winnick
Richard Lopp	Kelly Wurtz
Benjamin Lovitz	Christopher (Xicheng) Xu
Pei Jiang Low	Cindy (Xinci) Yang
Roger (Xiuzhe) Luo	Bowen Yang
Benjamin Maclellan	HeeBong Yang
Shayan Majidy	Fangzhou Yin
Sonell Malik	Yuming Zhao
Anastasiia Mashko	Shazhou (Joey) Zhong
Kieran Mastel	Jennifer Zhu
Ejaaz Merali	Artem Zhutov
Zachary Merino	Nicholas Zutt

Étudiants à la maîtrise

Abhishek Anand	Angus Lowe
Amit Anand	Anton (Tony) Lutsenko
Satchel Jeanne Armena	Mary Katherine MacPherson
Joan Etude Arrow	Victor Marton
Mohammad Ayyash	Darian McLaren
Ali Binai-Motlagh	Rahul Menon
Jack (John) Burniston	Mayar Tharwat Mohamed
Nicole Caswell	Kimia Mohammadi
Albie Chan	Arsalan Motamedi
Sandra Cheng	Manar Naeem
Margie (Margaret) Christ	Olivier Nahman-Lévesque



Anthony Chytros	Nicholas Olsen
Brady Cunard	Alev Orfi
Alex Currie	Parth Padia
Yvette De Sereville	Natalie Parham
Jack DeGooyer	Matteo Pennacchietti
Cary (Carolyn) Earnest	Matthew Piatt
Mohamed El Mandouh	Vinodh Raj Rajagopal Muthu
Collin Epstein	Shaun (Shixin) Ren
Xiaoxuan Fan	Marcel Robitaille
Taylor Fraser	Supratik Sarkar
Turner Garrow	Pravek Sharma
Ajith George	Kosar Shirinzadeh Dastgiri
Michael Grabowecky	Namanish Singh
Aaron Gross	Joshua Skanes-Norman
Lucas Hak	Zewen Sun
Zachary Hinkle	Hawking (XingHe) Tan
Anya Houk	Jacob Taylor
Omar Hussein	Devashish Jayant Tupkary
Noah Janzen	Twesh Upadhyaya
Dave Jepson	Anthony Vogliano
Scott Johnstun	Luyao Wang
Alexander Kerzner	Lemieux Wang
Bohdan Khromets	Maeve Wentland
Alexandra Kirillova	Evan White
Danny (Xiangzhou) Kong	Adam Winick
Michal Kononenko	Olivia Woodman
Joanna Krynski	Austin Woolverton
Sema (Fehime) Kuru	Wilson Wu
Tony (Anthony) Lau	Wenxue Zhang
Xiaoran (Nicole) Li	Zhaoxin Zhang
Sarah (Meng) Li	Xingyu Zhou
Junqiao Lin	Cheng Zhu
Guofei (Phillip) Long	Jingwen (Monica) Zhu

G. Invitations comme conférencier et participations à des conférences

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
Michal Bajcsy	Source de photons individuels fondée sur une boîte quantique émettant à la longueur d'onde du césium	Conférence <i>Photonics West</i> de SPIE (sur demande) : 2022-02-01
	Manipulation de photons individuels avec des ensembles atomiques : s'attaquer à d'anciens défis à l'aide de la nanophotonique	Journées quantiques 2022, Canada : 2022-02-08
	Environnements nanophotoniques pour l'optique quantique avec des ensembles atomiques	Congrès de l'ACP : 2022-06-01
Jon Baugh	Défis de la construction d'un ordinateur quantique à base de silicium	Symposium de l'ISQED : 2021-04-08
	Dispositifs à électrons individuels : applications à l'information quantique	Séminaire du CQIQ, Université de Toronto : 2021-06-04
	Dispositifs à électrons individuels : applications à l'information quantique	Séminaire de l'Institut de recherches Raman, Inde : 2022-02-23
Raffi Budakian	Diffraction à l'échelle de l'angström en résonance magnétique nucléaire : une avenue vers l'imagerie par résonance magnétique à résolution atomique	Société américaine de physique à Chicago, États-Unis : 2022-03-01
	Diffraction à l'échelle de l'angström en résonance magnétique nucléaire : une avenue vers l'imagerie par résonance magnétique à résolution atomique	7 ^e conférence internationale sur la nano-IRM, Barcelone, Espagne : 2022-03-01
David Gosset	Simulation rapide de circuits de Clifford planaires	Journée quantique du CFCS, Université de Pékin (en ligne) : 2021-05-12
	Bornes supérieures améliorées du rang des stabilisateurs d'états magiques	Ateliers de la réunion de l'Institut Simons pour la théorie du calcul, Université de la Californie à Berkeley : 2021-07-16
	Marches quantiques, théorie de la diffusion et calcul universel	Atelier de l'Institut Fields sur la théorie algébrique des graphes et l'information quantique (en ligne) : 2021-08-23
	Circuits peu profonds et frontière entre classique et quantique	Colloque de l'Institut Périmètre (en ligne) : 2021-09-22
	Algorithmes classiques de corrélation	QIP 2022, Pasadena, États-Unis : 2022-03-07
	Une loi d'aire pour systèmes de spin 2D sans frustration	QIP 2022, Pasadena, États-Unis : 2022-03-08
	Comment simuler des mesures sans calculer les valeurs marginales	Séminaire CMT/PyQuil, Institut Périmètre (en ligne) : 2022-03-18
Rajibul Islam	Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser	Colloque de physique, Université d'État du Colorado : 2021-04-05
	Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser	Colloque de physique, Université d'État de l'Ohio : 2021-04-06
	Simulation quantique d'ions piégés : possibilités et défis	Réunion sur la physique des atomes, molécules et ions piégés, ICTS, Bangalore : 2021-05-21
	Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser	USEQIP 2021, IQC : 2021-07-12
	Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser	QIQT 2021, IISER Kolkata : 2021-07-14
	Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser	QuanTalk, IIT Madras : 2021-11-11
	Simulations quantiques programmables avec des ions piégés refroidis par laser	IACS, Kolkata : 2021-12-21

Alan Jamison	Chimie de l'ultrafroid avec des molécules à état triplet	Congrès de l'ACP : 2021-06-07
	Physique quantique de l'ultrafroid	IQC : 2021-12-14
	Physique quantique aujourd'hui : contrôle de réactions chimiques par interférence quantique	IQC : 2022-03-24
Thomas Jennewein	QEYSSat 2.0 : Feuille de route des missions satellitaires quantiques canadiennes	Atelier QEYSSat 2.0 : 2021-02-15
	Nouvelles avenues de progrès des communications quantiques satellitaires	Symposium international de science, technologie et innovation quantiques, RIKEN : 2021-12-07
	Le réseau Internet quantique et pourquoi il faudra des satellites	Séminaire WEH sur les technologies quantiques photoniques, Bad Honnef, Allemagne : 2022-03-17
	Dispositifs de communication quantique	Atelier sur la mise en œuvre de la communication quantique, programme de formation CryptoWorks21 sur la DQC, Université de Waterloo : les 22 et 23 juin 2021
	Distribution quantique de clés (DQC)	Atelier sur les technologies émergentes, MDN : 2021-10-26
	Nouvelles avenues de communications quantiques sûres dans l'espace libre	Symposium thaïlandais sur les technologies quantiques : 2021-09-16
Na Young Kim	Polaritons excitoniques de Bloch à 2 saveurs	Webinaires sur la chimie des polaritons : 2021-04-20
	Environnements quantiques à semiconducteurs : Polaritons excitoniques de Bloch et excitons de Rydberg	Séminaire de génie électrique et informatique de l'Université de Waterloo : 2021-06-10
	De QM à QuIN	Semaine quantique 2021, Corée du Sud : 2021-06-27
	Quand un photon rencontre un exciton : Polaritons excitoniques de Bloch et excitons de Rydberg	51 ^e colloque d'hiver sur la physique de l'électronique quantique, États-Unis : 2022-01-10
	Environnements d'EDQ avec cavité quantique à semiconducteurs	Journées quantiques 2022, Canada : 2022-02-08
Raymond Laflamme	À propos de Stephen Hawking	ISSYP à l'Institut Périmètre, Waterloo : 2021-07-21
	Quelles sont les options pour la construction d'un ordinateur quantique de grande taille?	Institut de physique théorique de Paris-Saclay : 2021-11-29
Debbie Leung	Le détournement de l'intrication et ses applications	Atelier en ligne sur le logiciel quantique et l'optimisation, Centre Wallenberg de technologie quantique, Université de technologie Chalmers, Göteborg, Suède : les 8 et 9 avril 2021
	Codes quasi optimaux pour des communications quantiques interactives en régime de faible bruit	5 ^e assemblée générale du consortium QSC, Conférence sur les réseaux quantiques, Amsterdam, Pays-Bas : les 3 et 4 juin 2021
	Les quantités additives ne peuvent pas être plus qu'asymptotiquement continues	Division de physique théorique, session sur la théorie de l'information quantique, Congrès virtuel 2021 de l'ACP : du 6 au 11 juin 2021
	L'ornithorynque du jardin zoologique des canaux quantiques	Atelier 2140b d'Oberwolfach – Géométrie et optimisation en information quantique, Institut de recherche en mathématiques d'Oberwolfach, Allemagne : du 3 au 9 octobre 2021
	Capacité des canaux quantiques	1 ^{er} symposium international sur la physique quantique trans-échelle (TSQS2021), Université de Tokyo, Japon : du 25 au 29 octobre 2021



Adrian Lupascu	Séminaire d'optique quantique	Université de Waterloo : 2021-12-02
	Forum sur l'intelligence synthétique	Forum virtuel : 2022-03-11
Norbert Lütkenhaus	Mettre le Canada à l'abri des attaques quantiques connues, et assurer la prospérité économique en étant un chef de file de la préparation des systèmes numériques contre les attaques quantiques.	Journées quantiques 2021, Canada : 2021-04-10
	La DQC en tant que mesure de rendement des réseaux quantiques	Atelier sur les réseaux quantiques de la prochaine génération : 2021-04-30
	Réseaux et applications de la DQC	Séminaire de RDDC sur les réseaux et les communications quantiques : 2021-04-07
	La distribution quantique de clés et la sécurité qu'elle prétend procurer	Symposium de l'Arizona sur la DQC et la CPQ : 2021-04-09
	Diminution du nombre de dimensions dans des protocoles de distribution quantique de clés à variables continues et modulation discrète	Qcrypt 2021 : du 23 au 27 août 2021
	Atelier du NICT	Atelier du NICT : du 7 au 9 décembre 2021
	La distribution quantique de clés : utile ou seulement amusante?	Table ronde quantique de Munich : 2021-05-12
	Réseaux et applications de la DQC	Atelier EOCO sur la DQC : 2021-09-13
	Analyse de la sécurité numérique pour la distribution quantique de clés, et son application aux protocoles optiques	Atelier SAMOP : 2021-09-23
	Réseaux et applications de la DQC	Atelier de BSI sur les sujets de l'heure en DQC : 2021-09-09
Matteo Marantoni	Circuits supraconducteurs : Exploration quantique de matériaux diélectriques	Journées quantiques 2022, Canada : 2022-02-09
Michele Mosca	Vers un avenir plus résilient à l'épreuve des attaques quantiques	1 ^{er} atelier international de Yanqui Lake sur la normalisation et l'application de la CPQ et 5 ^e forum asiatique sur la CPQ : 2021-04-24
	Cyber-résilience à l'ère quantique	Conférence en ligne sur la cybersécurité de l'Organisation des entreprises nucléaires du Canada : 2021-04-26
	Groupe national de développement quantique	Conférence d'IQT New York : 2021-05-17
	Marchés et évolution des produits de la cryptographie postquantique	Conférence d'IQT New York : 2021-05-17
	Perspectives de collaboration entre le Canada et l'UE	Atelier (virtuel) Canada-UE (CRSNG et Commission européenne), InCoQFlag, France : 2021-05-30
	Pouvons-nous nous permettre d'attendre, ou devrions-nous rechercher activement des solutions pour protéger l'intégrité des systèmes actuels de cryptographie?	Initiative de l'OIST sur la physique quantique et la cybersécurité – La science, les possibilités et les défis du monde réel – Activité virtuelle : 2021-06-01
	La cryptographie dans un monde d'informatique quantique : Nos données seront-elles en sécurité?	Sommet de Paiements Canada : 2021-06-04
	Technologie facilitant l'accès aux marchés internationaux	Réunion extraordinaire d'Horasis sur les États-Unis – Rebâtir la confiance : 2021-06-08
	Introduction à la menace quantique et à la préparation nécessaire	Organisation des entreprises nucléaires du Canada : 2021-06-29
	La voie postquantique	Conférence virtuelle ICMC21, Maryland, États-Unis : 2021-09-02
La voie quantique	Conférence virtuelle ICMC21, Maryland, États-Unis : 2021-09-02	



Menaces à la cryptographie quantique et menaces émanant de celle-ci	Centre de partage et d'analyse d'information de l'initiative Downstream Natural Gas : 2021-09-15
Se préparer à la menace quantique	Groupe de travail de l'Association canadienne du gaz sur la préparation de l'industrie nucléaire canadienne contre les attaques quantiques : 2021-09-22
Symposium thaïlandais sur les technologies quantiques	Initiative de recherche sur les technologies quantiques – en ligne : 2021-09-26
Exposé sur le calcul postquantique	Réseau de télécommunications aéronautique, Groupe IPS de l'OACI : 2021-10-14
L'avenir et les lacunes de la R-D en cybersécurité	Atelier final du Réseau intégré sur la cybersécurité (SERENE-RISC) : 2021-10-20
Mise à jour sur la chronologie de la menace quantique	Réunion de la communauté sur la sécurité quantique, Forum économique mondial : 2021-10-21
Faire le saut quantique : Comment la technologie quantique transformera les communications à grande distance	Capacity Europe : 2021-10-21
Se préparer à la cryptographie postquantique	Appel conférence de l'EUSN : 2021-10-22
Distribution quantique de clés	Atelier 2021 sur les technologies émergentes et perturbatrices, MDN : 2021-10-26
Pourquoi les choses sont-elles quantiques et pourquoi cela devrait m'intéresser?	Symposium de Mitsubishi et de l'Université de Waterloo sur la préparation à l'ère quantique : 2021-10-28
Groupes nationaux de développement quantique	Conférence d'IQT New York : 2021-11-01
Marchés et évolution des produits de la cryptographie postquantique	Conférence d'IQT New York : 2021-11-01
Exposé de synthèse	Semaine Canada-Allemagne sur l'informatique quantique, Berlin : 2021-11-02
La menace quantique : Où en sommes-nous aujourd'hui?	SecTor2021, Toronto : 2021-11-03
Cybersécurité et monde quantique : Ce que les firmes de la City doivent faire	Sommet quantique virtuel de la City, Londres, Royaume-Uni : 2021-11-10
Êtes-vous prêts pour le succès à l'ère quantique?	Sommet de l'IEEE sur l'informatique quantique : 2021-12-01
Séance plénière sur l'impact de la technologie et une fenêtre sur l'avenir	Symposium GCDCS21 sur l'innovation numérique dans la prochaine normalité, Hamilton : 2021-12-02
Amener la DQC dans les infrastructures numériques du monde réel	Innovation quantique 2021, RIKEN, Japon : 2021-12-08
Cryptographie postquantique	3 ^e conférence internationale de l'IEEE sur la confiance, la vie privée et la sécurité dans des systèmes intelligents, et leurs applications : 2021-12-13
Se préparer à l'informatique quantique : Considérations de cybersécurité	Webinaire public du Global Risk Institute : 2022-01-31
Informatique quantique et sécurité nationale	Cours de science quantique du Collège de l'information et du cyberspace de l'Université de la Défense nationale, Washington : 2022-02-14
Atelier du CNRC et de RDDC sur l'avenir du réseau Internet quantique au Canada	Projet QEYSSat, Waterloo : 2022-02-15



	Conversation au coin du feu sur la stratégie et un plan d'action en matière de cybersécurité nationale	Topo avec Sami Khoury, du Centre canadien pour la cybersécurité, Technation : 2022-02-24
	Sommes-nous prêts pour l'ère quantique?	Conférence publique de la FCI, Waterloo : 2022-02-28
	Atelier sur les normes de la stratégie quantique nationale	Conseil des normes du Canada et Innovation, Sciences et Développement économique Canada : 2022-03-03
	Collaboration transfrontalière en matière de recherche-développement de technologies quantiques	<i>Le Canada et les États-Unis dans la nouvelle ère de la technologie quantique</i> , Activité conjointe États-Unis-Canada, Centre Wilson et ambassade du Canada, Washington : 2022-03-09
	Introduction à la menace quantique et à la préparation à l'ère quantique	Groupe de travail sur la cybersécurité du Groupe des propriétaires de CANDU : 2021-07-21
	L'informatique quantique vue de l'industrie	Atelier sur l'informatique quantique, Semaine quantique de l'IEEE : 2021-10-18
Christine Muschik	Hadrons SU(2) dans un ordinateur quantique	Réunion annuelle du programme <i>Matière et technologies</i> de l'Association Helmholtz : 2021-06-19
	Vers la simulation dans un ordinateur quantique d'effets 2D dans des théories de jauge en treillis	Atelier du CERN sur les perspectives de la détection et du calcul quantiques en physique des particules : 2021-07-19
	Hadrons SU(2) dans un ordinateur quantique	EPFL Lausanne, Suisse : juin 2021
	Vers la simulation dans un ordinateur quantique d'effets 2D dans des théories de jauge en treillis	Séminaire en ligne sur le calcul quantique et la physique des hautes énergies : juin 2021
	Hadrons SU(2) dans un ordinateur quantique	Colloque théorique du CERN : mai 2021
Ashwin Nayak	Rigidité du codage superdense	Colloque de physique Brahmagupta, IIT Madras, Chennai, Inde : 2021-04-21
	Rigidité du codage superdense	Colloque du Département de mathématiques, Université d'État de l'Ohio : 2021-04-22
	Un nouveau regard sur le problème des arborescences collées	Atelier de l'Institut Fields sur la théorie algébrique des graphes et l'information quantique, Toronto, Canada : 2021-08-23
Vern Paulsen	Valeurs synchrones de jeux et l'algèbre des valeurs	49 ^e symposium canadien sur les opérateurs : 2021-05-31
	Jeux collaboratifs et intrication	Atelier international sur la théorie des opérateurs et ses applications : 2021-08-19
	Factorisation et espace de Hilbert à noyau reproduisant	Colloque sur les espaces de fonctions analytiques et leurs applications, Institut Fields de recherche en sciences mathématiques : 2021-12-17
Micheal Reimer	Communications quantiques sûres à l'aide de boîtes quantiques à nanofils	Université de Stuttgart, Allemagne : 2021-04-29
	Contrôler la lumière à l'échelle nanométrique avec des nanostructures façonnées	Webinaire mondial sur les lasers, l'optique et la photonique (à distance) : les 25 et 26 septembre 2021
William Slofstra	Table ronde sur le rôle des preuves dans MIP* = RE	Colloque quantique, Institut Simons, Université de la Californie à Berkeley : 2021-05-04
	Jeux non locaux et sommes de carrés	Atelier de l'Institut américain de mathématiques (AIM) sur les inégalités non commutatives (en ligne) : juin 2021



	Algèbres de jeux non locaux XOR	Atelier de l'Institut américain de mathématiques (AIM) sur les jeux non locaux en théorie de l'information quantique (en ligne) : mai 2021
	Le problème de l'appartenance pour les ensembles de corrélations quantiques est indécidable	Université d'Innsbruck : octobre 2021
	Problèmes de décision pour la positivité et les sommes de carrés	MFO, Oberwolfach : octobre 2021
Adam Wei Tsen	Effet Hall anormal non linéaire géant sur l'axe c	Symposium <i>Magnetic North VII</i> : 2021-06-08
	Effet Hall anormal non linéaire géant sur l'axe c dans $Ta-MoTe_2$	Réunion de printemps de la Société de recherche sur les matériaux : 2021-04-21
	Commutation multifonctionnelle de memristances dans des aimants 2D et des ondes de densité de charge	12 ^e conférence internationale sur les matériaux et dispositifs évolués, Jeju, Corée du Sud : 2021-12-08
	Effet Hall anormal non linéaire géant sur l'axe c dans $Ta-MoTe_2$	Réunion thématique du Centre de la science des matériaux émergents sur les réponses électriques et optiques non linéaires dans les matériaux quantiques, Tokyo, Japon : 2022-03-03
	Commutation multifonctionnelle de memristances dans des aimants 2D et des ondes de densité de charge	6 ^e conférence internationale sur les électromatériaux évolués, Jeju, Corée du Sud : 2021-11-10
Jon Watrous	Applications de l'informatique quantique en science des données	Forum sur l'intelligence synthétique : 2021-04-14
Chris Wilson	Génération de micro-ondes quantiques à l'aide de circuits supraconducteurs	Colloque de l'IEEE, Hyderabad, Inde : 2021
	Simulation quantique analogique de modèles topologiques avec une cavité paramétrée	Colloque de l'Université de l'État de Washington, Seattle, États-Unis : 2021
	Simulation quantique analogique de théories des champs en régime de couplage fort	Fondements quantiques, gravité et ordre causal, BIRS, Banff : 2021
	Atomes artificiels géants et guides d'ondes topologiques programmables	Séminaire 2021 de QED sur les guides d'ondes, Sicile, Italie
	Abaissement de fréquence paramétrique spontané de 3 photons dans une cavité paramétrée	Colloque de l'Université de technologie Chalmers, Göteborg, Suède : 2021
	Simulation et calcul quantiques avec des photons micro-ondes	Colloque de physique, Université Purdue, États-Unis : 2021
	Simulation quantique analogique de modèles topologiques avec une cavité paramétrée	Journées quantiques, Ottawa : 2021
	Micro-ondes non classiques à partir de circuits quantiques supraconducteurs	Colloque de l'IEEE, Hyderabad, Inde : 2021
	Que signifie « quantique »?	Conférence IEEE Radar, Atlanta, États-Unis : 2021
Optique quantique micro-ondes avec des atomes artificiels	Colloque de l'Institut de recherche Raman, Bangalore, Inde : 2021	
Jon Yard	Distributions de probabilité d'ordre 2 serrées dans un espace projectif complexe	Problèmes ouverts en combinatoire algébrique, Waterloo : 2021-05-21

H. Scientifiques invités et visiteurs

Nom	Affiliation
Anja Metelmann	Université libre de Berlin
Marcel Tiepelt	Institut de technologie de Karlsruhe
John Weeks	Université agricole et mécanique du Texas
Priyanga Ganesan	Université agricole et mécanique du Texas
Shihan Sajeed	Ministère de la Défense nationale
Simon Carrier	Université de Sherbrooke
Hayata Yamasaki	Institut d'optique et d'information quantiques, Vienne
John Wright	Université du Texas à Austin
Luo Laizhen	Université de science et technologie de Harbin
Pathompron Jaikwang	Université Mahidol
Florian Kanitschar	Université technique de Vienne
Guisepe Bruno	Banque d'Italie
Kehui Li	Université de Toronto
Yu-Ting Chen	Université Harvard
Cody Winkleback	Rigetti Computing
Henry Hunt	Université de Chicago
Megan Byres	Université du Colorado à Boulder
Jaden Wang	Université du Colorado à Boulder
Kate Fenwick	Université d'Ottawa
Hannah Varekamp	Université Carnegie-Mellon