IQC.UWATERLOO.CA

UNIVERSITÉ DE WATERLOO | IQC Institut d'informatique Quantique

INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE
RAPPORT ANNUEL couvrant la période du 1er AVRIL 2018 au 31 MARS 2019

Rapport soumis à l'approbation du Conseil des gouverneurs de l'Université de Waterloo

EN VUE D'ÊTRE PRÉSENTÉ AU
MINISTÈRE DE L'INNOVATION, DES SCIENCES ET DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE
Le 30 JUILLET 2019

MESSAGE DU DIRECTEUR GÉNÉRAL

L'occasion quantique pour le Canada

L'exercice 2018-2019 a été fantastique pour l'Institut d'informatique quantique. Grâce au généreux appui du gouvernement du Canada, l'IQC a pu réaliser des percées scientifiques, former des physiciens quantiques, soutenir la croissance industrielle et créer des possibilités de commercialisation, tout en préconisant un espace d'étude et de travail qui soit inclusif.

L'IQC est unique au monde pour l'étendue de son expertise, la qualité de ses infrastructures et l'éventail de ses équipements scientifiques. Nous avons constitué une communauté dynamique de chercheurs qui ont en commun la volonté de résoudre les problèmes les plus difficiles de la physique quantique. L'IQC est la plaque tournante de la *Quantum Valley* de la région de Waterloo, grappe technologique qui se consacre au progrès de technologies quantiques, afin que le Canada profite au maximum des bienfaits de l'économie quantique. L'investissement du gouvernement du Canada nous aide à attirer et à former des chercheurs talentueux, ainsi qu'à leur fournir les outils dont ils ont besoin pour étendre nos connaissances et mettre au point les nouvelles technologies qui seront le moteur de la prochaine révolution quantique.

Je suis très fier de ce que l'IQC a accompli jusqu'à maintenant et enthousiaste quant à l'avenir. Nous serons heureux de continuer à travailler avec le gouvernement du Canada, afin de faire progresser la recherche en physique quantique et de permettre à notre pays de profiter des possibilités qu'elle offre.

Kevin Resch
Directeur général par intérim
Institut d'informatique quantique
Université de Waterloo

Table des matières

L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE 4
OBJECTIFS DU FINANCEMENT POUR LA PÉRIODE 2017-2019 5
RÉALISATIONS ET RÉSULTATS EN 2018-2019 6
Objectif A 6
Objectif B 26
Objectif C 32
Objectif D 36
Objectif E 41
ANNEXES 42
A. Stratégies d'évaluation et de mitigation des risques 42
B. Publications 43
C. Professeurs et professeurs-chercheurs adjoints 48
D. Collaborations 49
E. Postdoctorants 51
F. Étudiants diplômés 52
G. Invitations comme conférencier et participations à des conférences 55
H. Séminaires et colloques 62
I. Scientifiques invités 65
J. Visites de représentants universitaires, gouvernementaux et industriels 69
K. Couverture médiatique 70
L. Gouvernance 71
M. Personnel administratif 77
N. Données financières – Rapport de l'auditeur 78

L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE

L'Institut d'informatique quantique (en abrégé IQC pour *Institute for Quantum Computing*) a été fondé en 2002 afin d'exploiter le potentiel 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 en physique 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 et former la nouvelle génération de scientifiques.

L'IQC est devenu le principal centre canadien de physique quantique en vue de la prochaine grande révolution technologique — la révolution 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 XXIe 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 ministère de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique, 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 POUR LA PÉRIODE 2017-2019

L'IQC a bénéficié d'un généreux soutien du gouvernement du Canada, soit 10 millions de dollars sur 2 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;
C. faire du Canada la destination de choix pour la recherche sur les technologies quantiques et y attirer les meilleurs au monde, mettre sur pied et renforcer des partenariats avec la communauté internationale de l'information quantique, et favoriser 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'Institut, afin de promouvoir effectivement la science et l'informatique quantique, et de montrer comment la recherche sur l'information quantique peut être appliquée;
E. traduire de plus en plus les résultats de la recherche en produits quantiques commercialisables qui apporteront des bénéfices économiques et sociétaux au Canada.

Résultats visés

- Améliorer les connaissances en science et technologie de l'information quantique.
- Soutenir et offrir aux étudiants des occasions d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances.
- Positionner le Canada comme destination de recherche sur les technologies quantiques.
- Faire connaître davantage la science et la technologie de l'information quantique, de même que l'Institut, dans la communauté scientifique et chez les Canadiens en général.
- Permettre au Canada de tirer parti des bénéfices économiques et sociétaux de l'informatique quantique en saisissant les occasions de commercialiser les percées réalisées.

Avec les activités planifiées et menées grâce à la contribution du gouvernement du Canada au cours des dernières années, l'IQC a positionné le Canada de manière à ce qu'il profite pleinement des bénéfices économiques, sociétaux, et dans certains cas environnementaux, de la recherche dans le domaine quantique. La suite de ce rapport présente les progrès réalisés pendant l'exercice 2018-2019.

RÉALISATIONS ET RÉSULTATS EN 2018-2019

Objectif A

Enrichir les connaissances en science et technologie de l'information quantique (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).

Résultats visés : Améliorer les connaissances en science et technologie de l'information quantique.

Activités prévues en 2018-2019

- 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 — Sciences, Mathématiques et Génie.
- Continuer de publier les résultats de la recherche dans des revues scientifiques de premier plan.
- Recruter jusqu'à 2 nouveaux professeurs.
- Recruter si possible un nouveau professeur-chercheur adjoint.
- 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 les installations de la salle blanche Quantum NanoFab, 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'Institut.
- Chercher à conclure de nouveaux partenariats favorisant l'accomplissement de la mission de l'IQC et l'atteinte de ses objectifs.

Progrès accomplis en 2018-2019

Poursuivre un programme de recherche en collaboration sur le calcul quantique, la communication quantique, les capteurs quantiques et les matériaux quantiques.

Les scientifiques de l'IQC poursuivent collectivement un programme de recherche interdisciplinaire, menée en collaboration, qui se traduit par des progrès de nos connaissances en science et technologie de l'information quantique. Voici quelques points saillants des résultats de la recherche effectuée pendant l'année écoulée. L'annexe B, à la page 43, donne la liste complète des publications des chercheurs de l'IQC.

Atténuation des pertes d'information dues aux modes de résonance des cavités dans un ordinateur quantique supraconducteur
Quantum Science and Technology
http://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-9565/aabd41/pdf

Le laboratoire de matière quantique numérique (LMQN), dirigé par le chercheur Matteo Mariantoni, a étudié 2 techniques de décalage de fréquence permettant d'empêcher le matériel d'un système quantique d'interférer avec le fonctionnement des qubits.

« À mesure qu'un système quantique comporte de plus en plus de qubits, il devient plus difficile de maintenir les états de ces qubits », a déclaré Thomas McConkey, candidat au doctorat et auteur principal de l'article. « Et lorsqu'un système de qubits atteint une certaine taille, son propre matériel peut causer la perte d'information et l'arrêt complet du fonctionnement de la puce. » [traduction]

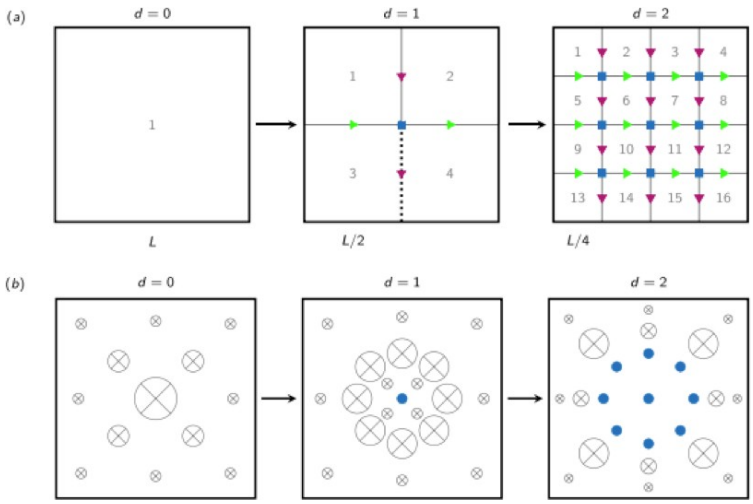


Figure 1 – a) Clôturage de demi-ondes; b) Brochage des anti-nœuds

Lorsqu'une puce de qubit est dans une boîte supraconductrice, les dimensions de la boîte et de la puce créent souvent des résonances indésirables correspondant à diverses fréquences de micro-ondes. Si la fréquence de résonance est voisine de celle du qubit, l'information portée par le qubit se perd dans la résonance, ce qui provoque des erreurs de traitement.

La première solution proposée par le LMQN, le brochage des anti-nœuds (aussi appelés *creux* ou *ventres*), est bien connue dans le mode de l'ingénierie, mais elle n'a jamais été appliquée en informatique quantique.

Comme son nom l'indique, le brochage des anti-nœuds consiste à placer une broche Pogo à l'anti-nœud de la première résonance, ce qui entraîne un décalage de sa fréquence. On répète l'opération jusqu'à ce que la fréquence de résonance du matériel dépasse celle du qubit, ce qui abaisse le taux d'erreur dû à la perte d'information.

Le brochage des anti-nœuds donne un rendement optimal des qubits et est compatible avec n'importe quelle forme de cavité, mais il se traduit par des dispositions de broches qui ne sont pas facilement compatibles avec des grilles de qubits. Comme différents schémas courants de calcul quantique, p. ex. le code de surface, entraînent la création de puces ayant une structure de grille, l'équipe de chercheurs a examiné une seconde méthode de décalage de fréquence, le clôturage de demi-ondes. Cette méthode produit de multiples cavités plus petites à l'intérieur de la cavité originale, comme une cage de Faraday.

Des simulations testant l'efficacité des 2 méthodes de décalage de fréquence ont montré que les taux d'erreur dus à la perte d'information pourraient facilement être abaissés à des ordres de grandeur inférieurs aux meilleurs taux d'erreur que l'on peut actuellement obtenir.

« Le connecteur quantique constitue une manière prometteuse de supprimer les résonances parasites en les confinant de façon stratégique dans une cavité où sont placés les circuits quantiques », a déclaré Vivekananda Adiga, ingénieur chercheur chez IBM Research. « Cela permet d'améliorer le contrôle et la lecture des qubits, en diminuant les pertes et interférences. Cela ouvre une voie possible pour agrandir les treillis de qubits sans compromettre leurs performances. » [traduction]

La prochaine phase du projet consistera à tester en laboratoire ces méthodes de décalage de fréquence.

« L'augmentation de taille des systèmes quantiques pose bien d'autres problèmes, par exemple en ce qui concerne les contrôleurs de qubits. Il reste donc encore beaucoup de travail à faire », a déclaré M. Mariantoni, qui est également professeur au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. « Mais au moins nous disposons de méthodes pour atténuer les pertes d'information. » [traduction]

L'article intitulé *Mitigating leakage errors due to cavity modes in a superconducting quantum computer* a été publié dans la revue *Quantum Science and Technology*. Ces recherches ont été menées en partie grâce à l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Production de micro-ondes intriquées multimodes avec une cavité paramétrique supraconductrice
Physical Review Applied
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.10.044019

Une équipe de chercheurs de l'Institut d'informatique quantique (IQC) a réalisé l'intrication de 3 photons sur une puce supraconductrice à l'aide d'une technique nouvelle et extensible.

L'expérience, qui a fait l'objet d'un article publié dans *Physical Review Applied*, pourrait conduire à des avancées dans les protocoles de communication quantique comme le partage de secrets ainsi que dans la puissance du calcul quantique.

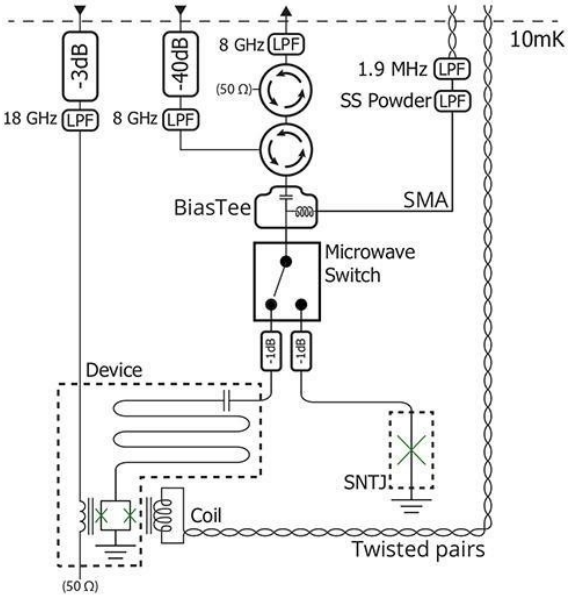


Schéma simplifié du dispositif de mesure

« En gros, nous voulons répartir l'intrication », a déclaré Chris Wilson, professeur à l'IQC, qui a dirigé les travaux menés avec l'équipe du laboratoire d'ingénierie de systèmes quantiques (LISQ). « Cela pourrait vouloir dire l'étendre sur de très longues distances pour assurer la sécurité de communications, ou encore, dans un processeur quantique, répartir l'intrication entre différentes parties d'une puce. » [traduction] Pour réaliser l'intrication de plusieurs photons, l'équipe a créé des états quantiques de micro-ondes à des fréquences voisines de 5 GHz — la bande de

fréquences de communications sans fil par téléphone cellulaire et liaison Wi-Fi. Elle a conçu un circuit supraconducteur spécial agissant comme une cavité de micro-ondes.

« La cavité est comme une boîte servant à stocker des photons », a expliqué M. Wilson, qui est également professeur au Département de génie électrique et informatique à l'Université de Waterloo. « Cette boîte peut contenir des photons de diverses fréquences. » [traduction]

Les photons sont intriqués sur la puce par un processus appelé *abaissement de fréquence paramétrique*, qui consiste à appliquer des champs magnétiques de grande fréquence sur un dispositif supraconducteur à interférence quantique (SQUID) intégré dans la cavité. Cela a pour effet de modifier les propriétés électriques du système et, par conséquent, la fréquence des photons présents dans la cavité de micro-ondes.

Lorsque le signal modifiant la fréquence est appliqué au circuit, les photons sont divisés en ensembles de photons intriqués entre eux. La modification de fréquence a également pour effet de faire passer les photons d'un mode, ou section, du circuit à un autre.

« Si l'on applique un champ magnétique dont la fréquence est la somme des fréquences de 2 cavités, dit M. Wilson, les photons créés sont de fréquences, ou de couleurs, différentes, mais ils sont quand même intriqués. » [traduction] M. Wilson compare cela à 2 danseurs, l'un habillé en rouge et l'autre habillé en bleu, mais dont les mouvements sont quand même synchronisés.

Dans l'expérience effectuée à l'IQC, l'équipe du LISQ a fait la démonstration de l'intrication de 3 photons, mais cette nouvelle méthode est extensible et permet d'ajouter d'autres états quantiques intriqués.

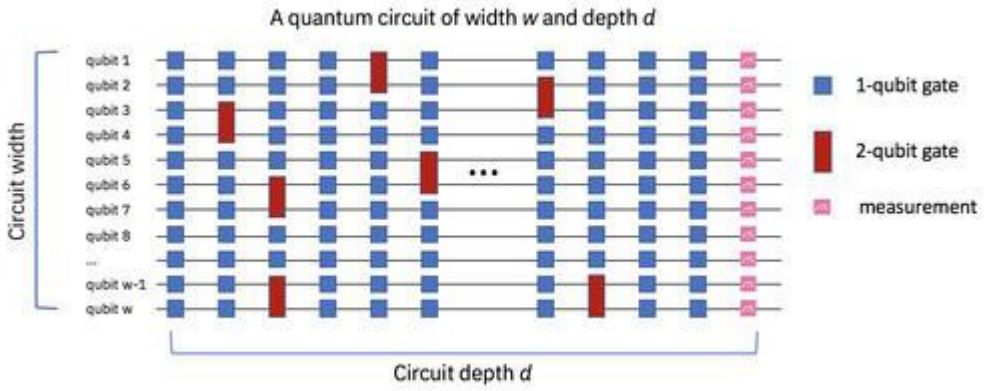
En plus des applications aux protocoles de communications quantiques sûres, les résultats obtenus fournissent des avancées prometteuses pour la construction d'un ordinateur quantique supraconducteur.

Ces recherches ont été menées en partie grâce à l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Avantage quantique de circuits peu profonds
Science
http://science.sciencemag.org/content/362/6412/308

Selon une récente étude publiée dans la revue *Science*, les ordinateurs quantiques peuvent résoudre un problème d'algèbre linéaire plus rapidement que les ordinateurs classiques. Cette étude prouve que les circuits quantiques d'une profondeur constante sont plus puissants que leurs pendants classiques, ce qui ouvre une nouvelle perspective sur la puissance de calcul de la technologie quantique.

L'étude menée par des chercheurs du Centre de recherche T.J.-Watson d'IBM, dont Sergey Bravyi, ainsi que par David Gosset, professeur à l'IQC, et Robert König, de l'Université technique de Munich, pourrait aussi donner des indications sur des utilisations prometteuses de la prochaine génération d'ordinateurs quantiques.



Des scientifiques prouvent que certains problèmes ne requièrent dans un ordinateur quantique qu'un circuit d'une profondeur fixe, peu importe le nombre d'entrées. Dans un ordinateur classique, les mêmes problèmes exigent un circuit d'une profondeur qui augmente avec le nombre d'entrées.

Un circuit quantique exécute un algorithme quantique en appliquant une séquence de portes qui opèrent sur un petit nombre de qubits. Des portes qui agissent sur des sous-ensembles différents de qubits peuvent être appliquées en parallèle à chaque étape, selon les spécifications de l'algorithme. Le nombre d'étapes est appelé *profondeur du circuit*.

« Il est utile de comprendre la puissance de circuits très peu profonds, afin de connaître la puissance des ordinateurs qui seront disponibles à court terme », a expliqué M. Gosset, qui est également professeur agrégé au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo. Il y a une limite à la taille des calculs que peuvent effectuer les ordinateurs quantiques disponibles à court terme sans correction d'erreurs. « Lorsqu'il y a des limites quant à la taille, a ajouté M. Gosset, on vise un petit nombre de qubits, des circuits peu profonds, ou les deux. » [traduction]

Les chercheurs se sont intéressés à des circuits d'une profondeur constante, c.-à-d. des circuits dont la profondeur (ou le nombre d'étapes de calcul) est indépendante du nombre de qubits. Ils ont découvert qu'un calcul quantique comportant un nombre constant d'étapes — un circuit quantique ayant une profondeur constante — pourrait résoudre un problème d'algèbre linéaire appelé *problème de la fonction linéaire cachée en 2D*.

De plus, ils ont démontré qu'aucun calcul classique de profondeur constante ne peut résoudre ce problème, révélant du même coup un avantage supplémentaire des ordinateurs quantiques par rapport aux ordinateurs classiques.

L'algorithme quantique ne requiert que des circuits disposés sur une grille bidimensionnelle, comme ce que l'on utilise actuellement dans des montages expérimentaux. On se rapproche donc d'une mise en œuvre concrète sur des appareils disponibles à court terme.

Ces résultats ouvrent aussi de nouvelles possibilités pour le développement d'algorithmes quantiques, et posent la question de savoir si une telle accélération peut persister en présence du bruit que provoque la technologie actuelle.

Production d'un treillis de faisceaux de spin-orbite à l'aide de méthodes cohérentes de calcul de moyenne
Physical Review Letters
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.121.183602

ET

Méthodes de préparation et de détection d'états de spin-orbite de neutrons
New Journal of Physics
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/aae3ac

Des chercheurs de l'Institut d'informatique quantique (IQC), en collaboration avec des chercheurs de l'Institut national des normes et de la technologie des États-Unis (NIST), ont mis au point une méthode robuste de structuration d'ondes lumineuses et d'ondes de de Broglie, améliorant la grande capacité des neutrons comme moyen de détection.

La maîtrise d'une propriété de la lumière appelée *moment angulaire orbital* (MAO) a donné des applications dans les domaines des communications, de la microscopie et de la manipulation d'information quantique. Récemment, dans 2 expériences différentes, des chercheurs de l'IQC ont fait la démonstration d'une méthode de structuration de MAO à couplage de spin qui est plus robuste et offre de nouvelles manières d'étudier des matériaux magnétiques et chiraux.

Dans la 1ère expérience, les chercheurs ont produit un faisceau de lumière formé d'un treillis d'états de MAO à couplage de spin. Pour ce faire, ils ont utilisé des méthodes cohérentes de calcul de moyenne et de contrôle spatial adaptées de la résonance magnétique nucléaire. C'est la première fois que cette technique est utilisée en optique.

« Les états de MAO à couplage de spin de la lumière sont utilisés dans de nombreuses applications, par exemple pour la transmission de données avec une bande passante extrêmement large », a expliqué Dusan Sarenac, directeur technique au sein du programme *Technologies quantiques transformatrices* (TQT). « Notre méthode deviendrait encore plus intéressante avec l'extension de la capacité de ces faisceaux en fournissant un réseau de tels états grâce à une structure en treillis. » [traduction]

Cette méthode est extensible à d'autres milieux, par exemple neutroniques. Grâce à leur capacité de pénétration et à leur sensibilité magnétique, les neutrons constituent un moyen puissant de sonder des matériaux, et notamment de caractériser la structure interne de leur champ magnétique, puisqu'ils pénètrent facilement dans des matériaux qui normalement bloquent la lumière.

L'extension de la méthode de structuration de MAO aux neutrons améliore encore davantage leur capacité déjà grande de sondage et ajoute une autre possibilité de caractérisation de matériaux.

« La technique que nous présentons permet d'utiliser les neutrons pour sonder de nouveaux types de matériaux topologiques, dont les champs magnétiques internes forment des hélices », a déclaré M. Sarenac, auteur principal de l'article. « Cela pourrait mener à des avancées intéressantes en optique et en imagerie neutroniques. » [traduction]

D'autre part, les chercheurs ont présenté une nouvelle méthode de caractérisation des neutrons. Cette méthode permet de mesurer directement les corrélations entre les états de spin et de moment transverse, ce qui résout les principaux défis posés par les neutrons — leur faible flux et leur faible longueur de cohérence spatiale.

« Nous espérons que cette méthode pourra entre autres être étendue à la détection des électrons et des rayons X » [traduction], a déclaré M. Sarenac.

Ces recherches ont été menées en partie grâce à l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Magnétorésistance à effet tunnel d'un million pour cent dans une hétérostructure de van der Waals
Nano Letters
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.8b01552

Une équipe de chercheurs de l'IQC dirigée par le professeur Adam Wei Tsen et le postdoctorant Hyun Ho Kim, en collaboration avec l'Université Renmin de Chine, a fait la démonstration d'un dispositif électronique, formé d'une combinaison de matériaux quantiques bidimensionnels, qui réagit d'une manière extrêmement forte à un champ magnétique. L'ampleur inattendue de cet effet pourrait ouvrir la voie au développement de nouvelles technologies quantiques.

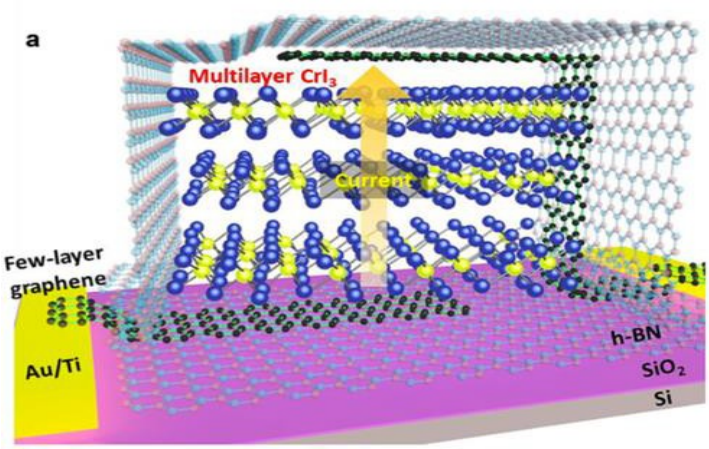


Schéma de la jonction tunnel magnétique créée par les chercheurs. L'enceinte de nitrure de bore hexagonal (h-BN) protégeait le triiodure de chrome contre les effets du milieu ambiant.

Les matériaux quantiques ont des propriétés exotiques qui peuvent aider à mettre au point des dispositifs nouveaux. Les matériaux bidimensionnels (2D) en sont un bon exemple : ils n'ont que quelques atomes d'épaisseur et présentent souvent des propriétés différentes des mêmes matériaux en 3D.

« Imaginez que l'on rogne des composés jusqu'à ce que leur épaisseur soit celle d'un seul atome, puis qu'on les recombine artificiellement pour former des hétérostructures, a déclaré M. Tsen. On ne peut pas produire directement ce genre de nouveaux matériaux. Lorsque l'on assemble ainsi des matériaux différents, de nouveaux phénomènes physiques peuvent émerger. » [traduction]

Les chercheurs ont constaté une magnétorésistance à effet tunnel d'un million pour cent dans un dispositif, appelé *jonction tunnel magnétique*, fait de triiodure de chrome (CrI_3), de graphène et de nitrure de bore. « Au départ, nous voulions seulement comprendre les propriétés magnétiques de CrI_3, ce que la géométrie de ce dispositif allait nous permettre de faire », a déclaré M. Tsen, qui est également professeur au Département de chimie de la Faculté des sciences. « Lorsque nous lui avons appliqué un faible champ magnétique, nous avons constaté

un changement énorme de la résistance du dispositif. Nous en avons déduit qu'il valait la peine d'étudier la chose plus à fond. » [traduction]

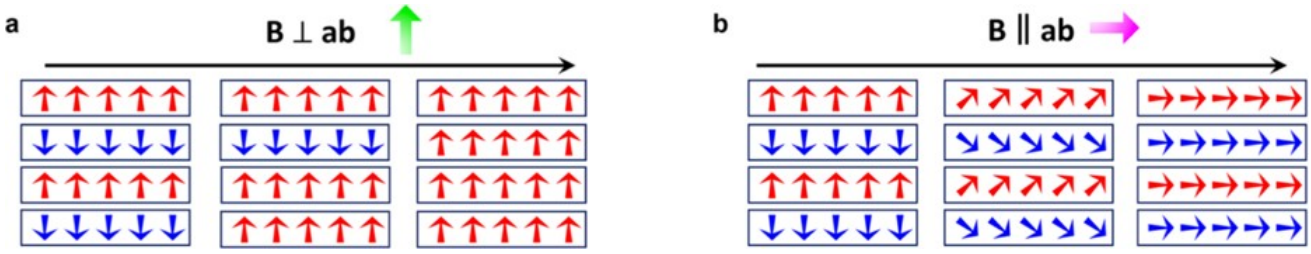
Les jonctions tunnel magnétiques sont généralement constituées de 2 matériaux ferromagnétiques (des métaux intrinsèquement et fortement magnétiques) séparés par une fine couche d'isolant. Lorsque l'on applique une tension électrique à travers la jonction, les électrons peuvent, grâce à la mécanique quantique, traverser comme par un tunnel l'isolant ultrafin. Lorsque la magnétisation des matériaux ferromagnétiques passe de parallèle à antiparallèle, la résistance électrique de l'isolant passe de faible à élevée. C'est ce que l'on appelle la magnétorésistance à effet tunnel.

On utilise des jonctions tunnel magnétiques dans la MRAM (*magnetoresistance random access memory* – mémoire vive à magnétorésistance). En attribuant les valeurs 0 et 1 respectivement aux états de résistance élevée et faible, on peut utiliser la MRAM pour le stockage d'information ou comme mémoire de travail.

Désireux de savoir ce qui se passerait si le semiconducteur lui-même était disposé en couches et magnétique, les chercheurs ont produit une jonction tunnel magnétique en plaçant manuellement des couches 2D du semiconducteur magnétique CrI_3 entre des électrodes de graphène. Lorsqu'une tension électrique a été appliquée à travers la jonction tunnel, les électrons ont traversé la fine couche de CrI_3 par effet tunnel quantique.

Dans un milieu à basse température, l'équipe a ensuite appliqué un champ magnétique. C'est à ce moment-là qu'il s'est produit quelque chose d'intéressant : le courant électrique traversant la jonction a augmenté d'un million pour cent.

Contrairement à ce qui se passe avec le CrI_3 3D, le couplage entre des couches de CrI_3 2D est antiferromagnétique : chaque couche a un spin opposé à celui des couches situées immédiatement au-dessus et en dessous. Cela crée une forte barrière qui s'oppose au passage des électrons. Lorsque les chercheurs ont appliqué un champ magnétique, celui-ci a aligné les spins de toutes les couches, ce qui a diminué la barrière contre l'effet tunnel et entraîné une baisse spectaculaire de la résistance électrique du semiconducteur.



Progression de la polarisation des spins dans chaque couche de triiodure de chrome avec l'application d'un champ magnétique : a) changement dans le cas d'un champ magnétique perpendiculaire; b) changement dans le cas d'un champ magnétique parallèle.

Les chercheurs ont observé une magnétorésistance supérieure de plusieurs ordres de grandeur à celle des jonctions tunnel actuellement utilisées dans les MRAM disponibles sur le marché. Une telle magnétorésistance et un contrôle aussi fin du spin ouvrent la voie à d'autres recherches sur ce matériau quantique, qui pourraient donner lieu à des progrès en électronique de spin (ou spintronique).

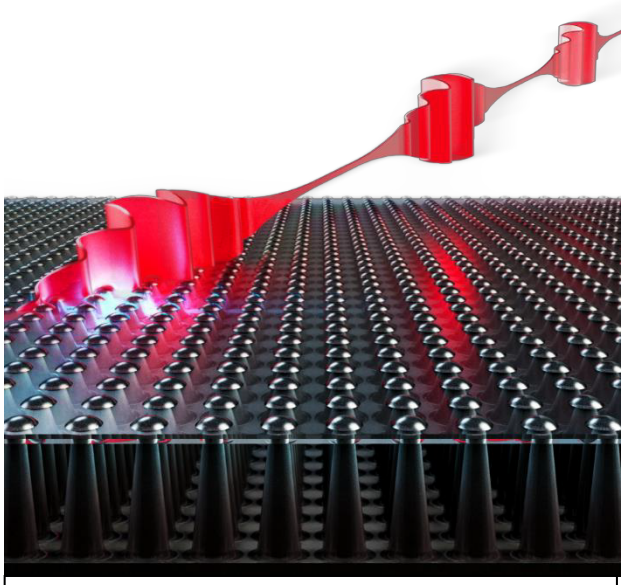
L'article intitulé *One Million Percent Tunnel Magnetoresistance in a Magnetic van der Waals Heterostructure* est paru dans la revue *Nano Letters*.

Ces recherches ont été menées en partie grâce à l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Réseaux coniques de nanofils d'InP pour une détection efficace et à large spectre de photons individuels
Nature Nanotechnology
https://www.nature.com/articles/s41565-019-0393-2

Travaillant sous la direction du professeur Michael Reimer, des chercheurs de l'IQC ont mis au point un nouveau capteur quantique ayant recours à des nanofils semiconducteurs qui peuvent détecter rapidement et efficacement des particules individuelles de lumière sur une gamme sans précédent de longueurs d'onde allant de l'ultraviolet à l'infrarouge proche.

Ce dispositif inédit surclasse les technologies actuellement commercialisées et ouvre d'énormes possibilités pour des applications de détection, notamment la surveillance des doses pour le traitement de cancers, l'imagerie 3D, les communications quantiques et la télédétection.



Représentation artistique de l'interaction de photons individuels incidents et d'un photodétecteur formé d'un réseau de nanofils semiconducteurs coniques. Chaque nanofil a une forme optimale pour bien absorber la lumière incidente. Une lueur bleue représente l'impression artistique du processus d'absorption et l'effet d'avalanche dans la jonction p-n des nanofils.

« Un capteur doit détecter la lumière d'une manière très efficace. Dans des applications comme le radar quantique, la surveillance et les opérations nocturnes, très peu de particules de lumière — appelées *photons* — atteignent le capteur », déclare M. Reimer, qui est également professeur adjoint au Département de génie électrique et informatique à l'Université de Waterloo. « Dans de tels cas, on veut pouvoir détecter chaque photon qui arrive. » [traduction]

Le capteur quantique de prochaine génération conçu dans le laboratoire de dispositifs photoniques de Michael Reimer est si rapide et efficace qu'il peut absorber et détecter un photon individuel et se réinitialiser en quelques nanosecondes pour l'arrivée du prochain photon.

Les chercheurs ont créé un réseau de nanofils coniques qui transforment les photons incidents en un courant électrique pouvant être amplifié et détecté. La rapidité, la résolution temporelle et l'efficacité du réseau de nanofils semiconducteurs sont dues à la qualité des matériaux employés, au nombre de nanofils, au profil de dopage ainsi qu'à l'optimisation de la forme et de la disposition des nanofils.

Les chercheurs ont fait appel à un logiciel évolué de modélisation pour optimiser la forme des nanofils. Leur forme conique permet de détecter un large éventail de longueurs d'onde, puisque

la lumière de petite longueur d'onde est absorbée au sommet des nanofils, alors que celle de grande longueur d'onde est absorbée près de leur base. De plus, les nanofils sont conçus pour que les photons soient absorbés exactement à la jonction p-n (positif-négatif), qui produit le champ électrique nécessaire pour amplifier le signal du photon absorbé. Une absorption à la jonction p-n se traduit par un temps de parcours moins long dans le nanofil et par une meilleure résolution temporelle, ce qui est nécessaire pour détecter chaque photon individuel avec une grande précision chronologique.

Les collaborateurs de l'équipe à l'Université technique d'Eindhoven, aux Pays-Bas, se sont rendu compte que la production des nanofils par gravure (méthode descendante) donnait une meilleure qualité optique que la production par croissance (méthode ascendante). Ces nanofils permettent d'avoir un courant d'obscurité — bruit de fond avant l'absorption d'un photon — très faible, et donc d'obtenir un excellent rapport signal sur bruit.

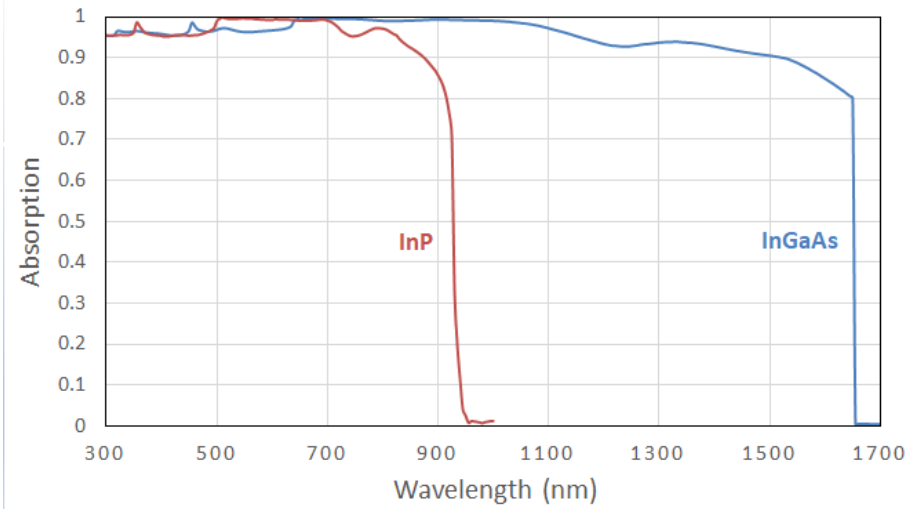
M. Reimer et son équipe ont optimisé la disposition des nanofils de manière à obtenir un temps de réponse très court. « Nous nous sommes rendu compte, explique-t-il, que si les nanofils du réseau étaient trop espacés, la lumière passerait sans être détectée et que s'ils étaient trop rapprochés, ils se comporteraient comme un matériau solide réfléchissant la lumière. Avec le bon espacement et une forme appropriée des nanofils, le réseau absorbe toute la lumière au lieu de la réfléchir. » [traduction]

La télédétection, la capture à grande vitesse d'images à partir de l'espace, l'acquisition d'images 3D à grande résolution, les communications quantiques, ainsi que la détection d'oxygène singulet pour la surveillance des doses dans le traitement de cancers, sont toutes des applications qui pourraient bénéficier de la détection de photons individuels fournie par ce nouveau capteur quantique.

Des détecteurs de photons individuels faisant appel à des nanofils supraconducteurs ont été mis au point pour répondre à de nombreuses demandes de ces applications, mais leur portabilité est limitée car ils fonctionnent à des températures cryogéniques. Ces contraintes confinent ces appareils aux laboratoires.

Les photodiodes à avalanche de photons individuels actuellement sur le marché contournent le problème de la température, mais imposent des compromis entre la résolution temporelle et l'efficacité. Le nouveau réseau de nanofils mis au point par Michael Reimer et son équipe n'impose aucun compromis de ce genre. Il détecte la lumière avec beaucoup d'efficacité et une grande résolution temporelle, et ce, à la température ambiante. M. Reimer fait remarquer qu'une utilisation en dehors des laboratoires bénéficiera probablement d'un simple réfrigérateur portable à effet Peltier, qui abaissera la température du dispositif à quelques degrés sous zéro, bien loin des quelque 3 kelvins qu'exigent les appareils supraconducteurs disponibles.

Contrairement aux détecteurs de photons individuels actuellement commercialisés, qui n'absorbent qu'une bande étroite de longueurs d'onde de lumière, ce nouveau capteur peut détecter la lumière dans un large spectre allant de l'ultraviolet (UV) à l'infrarouge (IR) proche. M. Reimer prédit que ce spectre pourra être élargi encore davantage vers les longueurs d'onde utilisées en télécommunications.



Spectre d'absorption d'un réseau de nanofils d'InP et de nanofils d'InGaAs. Dans ce dernier cas, le taux d'absorption reste voisin de 1 sur une fourchette sans précédent de longueurs d'onde (« Wavelength »).

« Ce dispositif utilise des nanofils en phosphure d'indium (InP), dit-il. En remplaçant ce matériau par de l'arséniure d'indium et de gallium (InGaAs) par exemple, on pourrait étendre le spectre de détection sans dégradation des performances. Ce dispositif est à la fine pointe et peut encore être amélioré. » [traduction]

Cette fourchette étendue permettra de détecter des ondes des domaines des télécommunications et de l'infrarouge, augmentant encore davantage la portée des applications commerciales possibles.

Maintenant qu'ils disposent d'un capteur quantique efficace, rapide, à large bande et fonctionnant à la température ambiante, quelles pourraient être les prochaines étapes pour ces chercheurs?

Une fois que le prototype sera doté de l'assistance électronique voulue et d'un dispositif portable de réfrigération, le capteur pourra être testé en dehors du laboratoire. « Beaucoup d'industries et de domaines de recherche bénéficieront d'un capteur quantique ayant ces propriétés, déclare M. Reimer. Ce capteur quantique efficace, rapide, à large bande et fonctionnant à la température ambiante ouvre la voie à de nouvelles possibilités passionnantes de détection de photons. » [traduction]

Le réseau de nanofils a été conçu et fabriqué aux Pays-Bas par des collaborateurs de l'Université technique d'Eindhoven, puis testé au laboratoire de dispositifs photoniques quantiques de l'IQC. L'article *Tapered InP nanowire arrays for efficient broadband high-speed single photon detection* a été publié le 4 mars dans la revue *Nature Nanotechnology*. Ces recherches ont été menées en partie grâce à l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Radar à bruit à illumination quantique
Applied Physical Letters
https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5085002

Des chercheurs de l'Institut d'informatique quantique (IQC) ont réalisé la première démonstration d'un radar à bruit à illumination quantique, ouvrant la voie à des avancées prometteuses en technologie des radars.

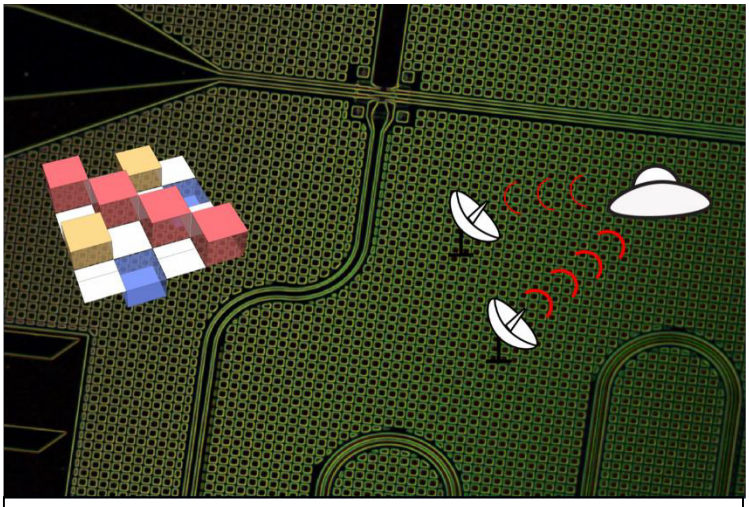
Les chercheurs ont montré comment le processus quantique peut rendre un radar 10 fois plus performant que son pendant classique, permettant de détecter des objets plus petits, plus éloignés ou qui se déplacent plus vite — tout en rendant le radar moins détectable par ses cibles.

« Nous appliquons à des situations concrètes la technologie mise au point pour l'informatique quantique », a déclaré Christopher Wilson, professeur au Département de génie électrique et informatique à l'Université de Waterloo et chercheur principal au Laboratoire d'ingénierie de systèmes quantiques à l'IQC. « Nos résultats montrent que l'illumination quantique est une avancée prometteuse pour les radars, qui constitue une importante application pratique. » [traduction]

L'équipe de M. Wilson a réalisé en laboratoire une expérience de principe de détection par radar, afin de comparer directement les performances d'un protocole quantique et celles d'un protocole classique. Les chercheurs ont produit des photons intriqués à l'aide d'un dispositif qu'ils avaient conçu pour intriquer de multiples photons de micro-ondes à des fréquences voisines de 5 GHz — la bande de fréquences de communications sans fil par téléphone cellulaire et liaison Wi-Fi.

Ils ont ensuite créé une source classique de photons qui reproduisait en apparence les signaux produits par le dispositif quantique, mais sans intrication. En envoyant les photons des deux sources à travers le dispositif de détection, comparant directement les protocoles quantique et classique, les chercheurs ont constaté que la source quantique était 10 fois plus performante que la source classique.

Ils ont observé que cette performance améliorée survenait uniquement lorsque le niveau de signal se situait près de celui de photons individuels, ce qui est beaucoup plus faible que le signal utilisé par un radar typique. Même s'il y a des moyens techniques bien connus pour augmenter la puissance d'un signal, « il y a une amélioration des performances lorsque le signal est intrinsèquement faible, de sorte que des applications sont possibles dans des situations où l'utilisateur ne veut pas que le sujet sache qu'il est surveillé » [traduction], a indiqué M. Wilson.



Micrographique du dispositif employé pour produire les signaux de micro-ondes intriqués. Les corrélations mesurées entre les signaux montrent que ceux-ci sont intriqués.

Cette expérience constitue un jalon car elle est la première démonstration de l'illumination quantique en régime de micro-ondes. « Cela est très intéressant, a expliqué M. Wilson, parce que c'est la gamme de fréquences dans laquelle la plupart des radars fonctionnent, de sorte qu'il pourrait y avoir dans l'immédiat d'autres applications pratiques pour la technologie actuelle des radars. » [traduction].

Elle montre aussi le potentiel d'applications concrètes des micro-ondes quantiques en plus du cryostat à la température ambiante, ce qui constitue une perspective enthousiasmante pour Christopher Wilson :

« Si nous comprenions pourquoi cela fonctionne effectivement, nous franchirions une étape vraiment importante dans la mise au point d'autres applications des micro-ondes quantiques. » [traduction]

L'article *Quantum-Enhanced Noise Radar*, rédigé en collaboration avec l'Université de Sherbrooke ainsi que Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC), a fait la manchette du numéro du 18 mars de la revue *Applied Physics Letters*. Ces recherches ont été menées en partie grâce à l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Continuer de publier les résultats de la recherche dans des revues scientifiques de premier plan

Publications et citations

Alors que les chercheurs de l'IQC continuent de faire progresser le domaine de la science et de la technologie de l'information quantique, les publications et les citations sont d'importants indicateurs de l'impact de leurs travaux, car elles aident à mesurer les résultats et l'intensité de la recherche. En 2018-2019, la communauté scientifique de l'IQC a publié 136 articles.

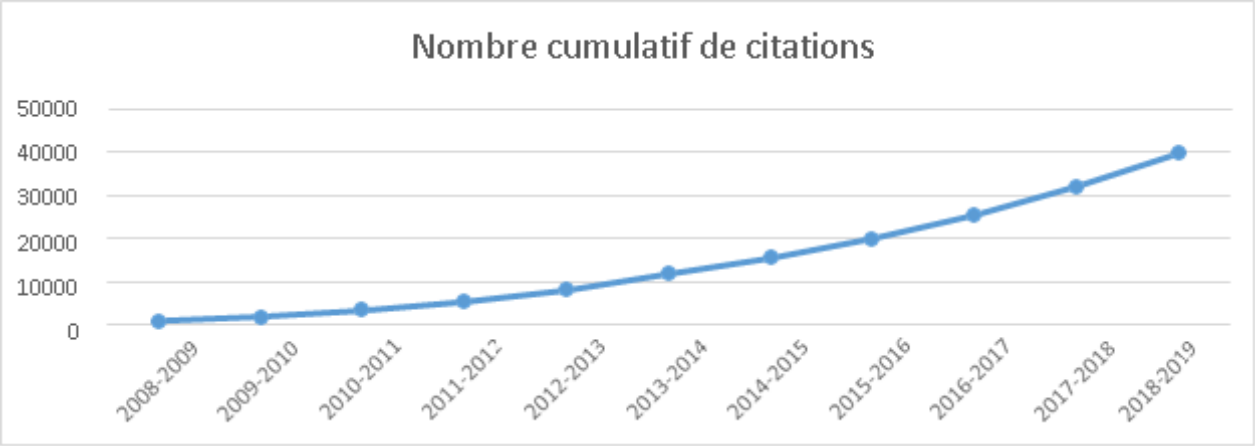
Environ 70 % de tous les articles écrits en collaboration (de 2002 à ce jour) ont été publiés avec des chercheurs d'importants instituts et universités du monde entier, notamment l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), l'Université Tsinghua, l'Université Harvard, l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université de Sherbrooke.

Les réalisations scientifiques de l'IQC sont d'autant plus remarquables si l'on tient compte des revues spécialisées de premier ordre où elles sont rendues publiques. Le tableau ci-dessous montre le nombre de découvertes de haut niveau, examinées par des pairs, publiées depuis 2012. Les chercheurs de l'IQC ont fait paraître 198 articles dans ces revues prestigieuses.

Publication	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
Nature	1	1		2	1		2	
Nature Photonics	1		3	2	1	2		
Nature Physics	3	2	3		2	1	1	
Nature Communications	1	1	1	5	3	4	3	4
Physical Review Letters	17	14	14	16	17	11	6	8
Science	2	1	1	3				1
Journal of Mathematical Physics	4	6	4	4	6	2	3	3
Foundations of Computer Science	1	1			1			
Symposium on Theory of Computing							1	1

L'annexe B, à la page 43, donne la liste des articles publiés en 2018-2019.

Le nombre de citations est un autre indicateur de la qualité de la recherche effectuée. Au moment de la rédaction de ce rapport, les articles publiés par des membres de l'IQC ont fait en tout l'objet de 39 710 citations. Le graphique ci-dessous montre l'augmentation du nombre de citations et l'impact des recherches effectuées à l'IQC au fur et à mesure de la croissance de son corps professoral.



Remarque : *Source des données sur les publications : Web of Science : AD= ((Inst* Quant* Comp*) OU IQC) ET ad = waterloo; données extraites le 31 mars 2019 pour la période allant du 1er avril 2018 au 31 mars 2019.*

Recrutement de nouveaux chercheurs

Professeurs

L'IQC compte actuellement 30 professeurs à plein temps et continue de jouir d'un taux élevé de rétention de son corps professoral. Depuis 2 ans, l'IQC a accueilli 9 nouveaux professeurs, dont David Gosset au cours de la dernière année.

David Gosset, professeur agrégé au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo, est entré en fonction à l'Institut d'informatique quantique (IQC) le 1er août 2018.

Il a obtenu un doctorat en physique au MIT en 2011, sous la direction d'Edward Farhi. Ses recherches de doctorat ont porté sur la puissance et les limites d'algorithmes adiabatiques quantiques. Ces travaux ont stimulé son intérêt pour la perspective informatique sur la physique et son application aux modèles de calcul, la complexité algorithmique des systèmes quantiques à N corps et les algorithmes quantiques.

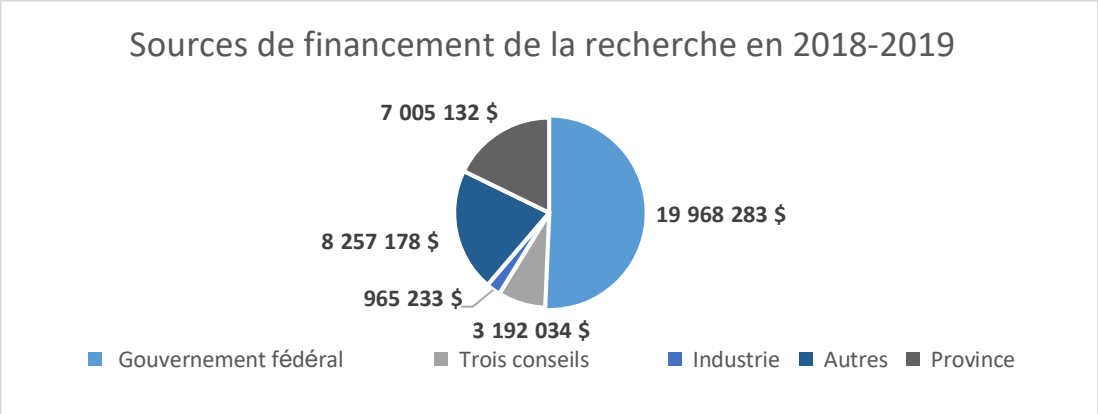
M. Gosset a ensuite fait des postdoctorats à l'IQC et à l'Institut de technologie de la Californie (Caltech), avant de se joindre en 2016 au Centre de recherche T.J.-Watson d'IBM.

Chez IBM, David Gosset a étudié des questions fondamentales d'algorithmique quantique et de théorie de la complexité quantique, en fonction de la disponibilité imminente de petits ordinateurs quantiques. Plus récemment, il a dirigé chez IBM le groupe de théorie des algorithmes quantiques, avant de revenir à l'IQC.

Au rythme de croissance actuel, on estime que l'IQC atteindra son objectif de 39 professeurs d'ici 2023. L'annexe C, à la page 48, donne la liste complète des 30 membres du corps professoral de l'IQC.

Subventions de recherche

Au cours du dernier exercice, les revenus de recherche de l'IQC provenant de sources fédérales, des programmes des Trois conseils, de programmes provinciaux et de l'industrie ont totalisé 39,3 millions de dollars. Cela représente une augmentation de plus de 6 millions de dollars, soit 16 %, par rapport aux mêmes sources de financement l'année précédente. Toutes les catégories de financement ont connu des augmentations. La plus forte augmentation pour ce qui est du montant (968 974 $) est venue de la Province de l'Ontario, mais la plus forte augmentation en pourcentage, soit 445 % est venue de sources industrielles. Le graphique ci-dessous résume les sources de financement de la recherche.



Remarque : *Les données sur les subventions de recherche suivent l'exercice financier de l'Université de Waterloo. Les données ci-dessus portent sur la période allant du 1er mai 2018 au 30 avril 2019.*

Prix, distinctions et chaires obtenus par des professeurs

Les prix et distinctions accordés aux professeurs témoignent du fort calibre des travaux menés à l'IQC. Ils constituent une reconnaissance par la communauté scientifique de l'excellence et de l'impact de la recherche. Dans un contexte de concurrence à l'échelle mondiale, de tels indicateurs sont cruciaux parce que les succès obtenus en matière de recherche permettent d'attirer de nouvelles ressources.

Voici un résumé des prix et distinctions obtenus par des professeurs de l'IQC en 2018-2019.

Professeur	Distinction	Source
Michal Bajcsy	Microcavité en espace libre et sélective de la polarisation, fondée sur des métasurfaces chirales	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, TQT-FDDQ
	Répéteur quantique hybride fondé sur des mémoires quantiques atomiques et paires de photons intriqués de longueur d'onde de télécommunications produites à partir de nanofils semiconducteurs	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, TQT-FDDQ
	Interface optique de micro-ondes installée sur une puce	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, TQT-FDDQ
	Sources de lumière quantique fondées sur la soustraction déterministe de photons	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, TQT-FDDQ
	Antenne quantique chirale fondée sur une métasurface multicouche	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, TQT-FDDQ
Jonathan Baugh	Prix de chef de file de la recherche	Institut de nanotechnologie de Waterloo
	Subvention à la découverte du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
Kyung Soo Choi	Programme de recherches ouvertes de l'Institut coréen des sciences et de la technologie	Institut coréen des sciences et de la technologie
David Gosset	Subvention de recherche d'IBM États-Unis	IBM États-Unis
K. Rajibul Islam	Subvention à la découverte du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
	Grand défi TQT (FERAC)	Technologies quantiques transformatrices
Thomas Jennewein	Médaille Wilhelm-Exner	Association industrielle de l'Autriche
Adrian Lupascu	Université de Waterloo	Collaboration Waterloo-Technion
Norbert Lütkenhaus	Subvention de recherche et développement coopérative du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
Michele Mosca	Prix de l'innovation en matière de sécurité et de lutte à la fraude	Webit
	Chevalier de l'Ordre du Mérite de la République italienne	République italienne
	Mise au point de nouveaux circuits quantiques pour simuler la structure électronique de matériaux de DELO	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
	Analyse de cryptographie postquantique	Gouvernement du Canada
	Distribution quantique de clés	Conseil national de recherches du Canada

Professeur	Distinction	Source
	Chaîne de blocs sécuritaire et adaptable à l'épreuve des attaques quantiques pour des infrastructures critiques	Conseil national de recherches du Canada et centre de collaboration de l'Université de Waterloo pour l'IA et la cybersécurité
	Cybersécurité, protection de la vie privée et affaires internationales	Institut de cybersécurité et de protection de la vie privée
Christine Muschik	Bourse de recherche Sloan	Fondation Alfred-P.-Sloan
Dmitry Pushin	Subvention à la découverte du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
	Prix scientifique 2018 de la Société américaine de diffusion des neutrons	Société américaine de diffusion des neutrons
Kevin Resch	Innovation, Sciences et développement économique	Gouvernement du Canada
	Chaire de recherche du Canada (de niveau 2)	Chaire de recherche du Canada sur les technologies de l'optique quantique
Crystal Senko	Subvention à la découverte du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
	Grand défi TQT (FERAC)	Technologies quantiques transformatrices
William Solfstra	Subvention à la découverte du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
Wei Tsen	Technologies quantiques transformatrices — 4e ronde du fonds de démarrage en développement quantique	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	Collaboration entre l'Université de Waterloo et POSTECH sur des hétérostructures magnétiques 2D ultrafines pour des dispositifs d'électronique de spin de la prochaine génération	Subvention de partenariat international de recherche de l'Université de Waterloo
	Bourse de nouveau chercheur	Ministère de la Recherche, de l'Innovation et des Sciences de l'Ontario
	Prix de chef de file de la recherche	Institut de nanotechnologie de Waterloo
John Watrous	Subvention de l'Institut canadien de recherches avancées	Institut canadien de recherches avancées
Christopher Wilson	Nouvelles mises en œuvre de qubits	Anyon Systems inc.
	Radar quantique aux fréquences micro-ondes	Recherche et développement pour la défense Canada
	Techniques de fabrication de qubits supraconducteurs à grande cohérence	Subvention d'engagement partenarial du CRSNG
Jon Yard	Subvention à la découverte du CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

Remarque : *Étant donné les modalités internes de reddition de comptes, il se peut que d'autres prix et distinctions ne figurent pas dans ce tableau. Le paragraphe* Subventions de recherche*, à la page 20, donne les montants totaux reçus à des fins de recherche pour la période couverte par le présent rapport.*

Chaires de recherche actuelles

Les chaires de recherche financées par des organismes externes, notamment les chaires de recherche du Canada, témoignent du rendement et des succès de scientifiques de l'IQC. Les chaires de recherche internes, ou chaires de recherche de l'université, reconnaissent des réalisations exceptionnelles et des compétences remarquables dans un domaine particulier.

Les professeurs suivants de l'IQC sont titulaires de chaires de recherche externes ou internes :

- David Cory, lauréat d'une chaire d'excellence en recherche du Canada (2017)
- Kevin Resch, chaire de recherche du Canada (2013-2023)
- Raymond Laflamme, chaire de recherche du Canada (2002-2022)
- Debbie Leung, chaire de recherche de l'université (2015-2022)
- Michele Mosca, chaire de recherche de l'université (2012-2019)
- Raymond Laflamme, chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis (2017-2027)
- Raffi Budakian, chaire financée par un fonds de dotation de l'Institut de nanotechnologie de Waterloo (WIN) en supraconductivité (2014-2019)

Continuer d'équiper les laboratoires du Centre Quantum-Nano Mike-et-Ophelia-Lazaridis, à mesure que de nouveaux membres de l'IQC sont recrutés.

Le Centre Lazaridis compte 14 laboratoires de recherche opérationnels, et d'autres laboratoires sont en cours de conception pour des expériences menées par des professeurs récemment recrutés à l'IQC.

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

Laboratoire de photonique quantique

Laboratoire de distribution quantique de clés par satellite

Laboratoire d'optoélectronique quantique intégrée

Laboratoire de vérification quantique

Laboratoire de matière quantique numérique

Laboratoire d'optique quantique du groupe d'information quantique

Laboratoire d'ingénierie de systèmes quantiques

Laboratoire de nanoélectronique intégrée

Laboratoire de matière quantique et de lumière ultrafroides

Chaque laboratoire est tenu à jour par les chercheurs responsables. Rajibul K. Islam et Crystal Senko, qui sont parmi les expérimentateurs à s'être joints le plus récemment à l'IQC, en sont encore à acquérir de l'équipement pour leurs laboratoires respectifs.

Au cours de la dernière année, M. Islam a continué d'équiper son laboratoire en faisant l'acquisition de 2 systèmes de diodes laser de classe 3b et en commandant d'autres équipements d'optique et d'optomécanique. Son équipe a commencé à faire des montages d'optique pour des expériences sur les ions piégés, et il procède constamment à l'acquisition de matériel d'optique.

Crystal Senko, qui est aussi devenue professeure à l'IQC à l'automne 2016, en est aux dernières étapes de la construction d'un montage pour piéger des particules (ions) chargées, les manipuler et mesurer leur état électronique. Le montage comprend : des électrodes de piège à ions qui seront logées dans une chambre à ultravide; des circuits fournissant les tensions électriques requises pour piéger les ions; des diodes laser modulées qui serviront à refroidir les ions une fois qu'ils seront piégés; d'autres lasers servant à produire les ions à piéger et à commander les circuits électroniques de synchronisation des divers instruments.

Continuer d'équiper et d'entretenir les installations de la salle blanche Quantum NanoFab, pour permettre la fabrication de dispositifs quantiques.

Au cours de la dernière année, la salle blanche Quantum NanoFab a changé de nom et de structure de reddition de comptes. Elle dépend maintenant directement du Bureau de la recherche de l'Université de Waterloo et est désignée par le sigle QNFCF (*Quantum-Nano Fabrication and Characterization Facility* – Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques). La QNFCF prend maintenant en charge les installations de 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. L'IQC a financé l'acquisition d'équipement et la mise à niveau de la QNFCF pour un montant total de 263 792 $.

Au début du mois de juin, l'équipe de la QNFCF s'est agrandie avec l'embauche de Sandra Gibson à titre de scientifique spécialiste de la nanofabrication et de la caractérisation. Titulaire d'un doctorat en génie physique de l'Université McMaster, Mme Gibson a récemment terminé un postdoctorat au sein de l'équipe de Michael Reimer à l'IQC. Son poste est financé par l'IQC et par le programme TQT du FERAC.

Chaque année, de nouvelles personnes sont formées, y compris des représentants d'entreprises externes qui ont besoin d'accéder à la technologie disponible dans la QNFCF. En 2018-2019, la demande de services fournis par la QNFCF a augmenté de 50 %.

Mettre à niveau et entretenir les laboratoires des bâtiments RAC (*Research Advancement Centre* – Centre d'avancement de la recherche).

L'équipe de la QNFCF de l'IQC a pris livraison d'un nouveau système de dépôt chimique en phase vapeur, qui servira à faire croître des nanotubes de carbone pour de nombreux projets de recherche en physique quantique. Ce système a été installé dans le bâtiment RAC2 et sera exploité par l'équipe de l'installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques. Entre autres améliorations aux laboratoires du bâtiment RAC2, il y a eu l'installation d'une hydrolance, d'un aimant de 20 teslas et d'un réfrigérateur à dilution.

Entre-temps, le bâtiment RAC1 est en rénovation pour la création d'un espace d'exploration quantique. Cet espace servira à donner à des étudiants et aux visiteurs accès à des systèmes quantiques d'un véritable calibre de recherche, pour l'acquisition de connaissances et la réalisation d'expériences de laboratoire. Grâce à cet espace, les participants à des programmes tels que USEQIP et QCSYS pourront acquérir une expérience pratique avec de vrais systèmes, et un grand nombre d'experts de l'industrie et de visiteurs pourront voir de véritables dispositifs quantiques en action.

Continuer d'entretenir des relations effectives et pertinentes avec les partenaires actuels de l'Institut. Chercher à conclure de nouveaux partenariats favorisant l'accomplissement de la mission de l'IQC et l'atteinte de ses objectifs.

La collaboration a toujours été au cœur des succès de l'IQC en matière de recherche. L'IQC maintient des partenariats de recherche dans le monde entier avec des équipes universitaires ainsi qu'avec des organismes à but non lucratif, des agences gouvernementales et des entreprises privées. Ces partenariats sont des moteurs d'innovation et font de l'IQC un acteur-clé de l'économie de l'innovation.

En 2018-2019, les chercheurs de l'IQC ont fait état de 53 collaborations actives avec 53 organisations distinctes. L'annexe D, à la page 49, donne la liste de ces collaborations pour chaque membre du corps professoral de l'Institut.

Remarque : En vertu de la politique de l'Université de Waterloo en matière de propriété intellectuelle (politique n° 73), les professeurs ne sont pas tenus de rapporter tous leurs liens avec l'extérieur de l'Université. Les collaborations en cours pourraient donc être plus nombreuses que ce qui est mentionné ici.

Recherche de nouveaux partenariats stratégiques

Comme l'établissement de ponts solides entre la science et la commercialisation a une priorité élevée pour les chercheurs et l'administration de l'IQC, les efforts visant à créer et maintenir des partenariats stratégiques ont toujours une grande importance. Voici quelques points saillants des initiatives prises par les chercheurs et le personnel de l'IQC au cours de la dernière année.

- En avril 2018, le ministère canadien de la Défense nationale a annoncé un investissement de 2,7 millions de dollars dans un projet piloté par l'IQC en vue de la mise au point d'une technologie de radar quantique. Cette technologie visera à aider les opérateurs de radar à vaincre le fort bruit de fond de l'Arctique canadien et à distinguer des objets — y compris des avions furtifs et des missiles — avec une précision sans égale. Le professeur Jonathan Baugh dirige ce projet avec 3 autres chercheurs de l'IQC et de l'Institut de nanotechnologie de Waterloo.

- À l'automne, le personnel administratif de l'IQC a organisé des visites d'une journée effectuées par de possibles investisseurs et partenaires industriels, dont des représentants de Google, d'IBM, d'Alibaba et de Rank Group ltée. Tous les professeurs de l'IQC ont été invités à participer à des rencontres avec ces groupes.

- La participation à des conférences organisées par des tiers et qui mettent l'accent sur la convergence de la physique quantique et de l'industrie est aussi devenue au cours de la dernière année un moyen-clé de rechercher de nouveaux partenaires. L'annexe G, à la page 55, donne les détails de la participation à ces conférences.

Objectif B

Offrir aux étudiants des occasions d'acquérir et d'appliquer de nouvelles connaissances, pour le bénéfice du Canada, et afin d'encourager l'innovation et les investissements en 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 en 2018-2019

- Poursuivre la croissance des programmes d'études supérieures de l'IQC et y attirer les meilleurs talents.
    - Susciter au moins 200 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 premier cycle d'universités ontariennes et canadiennes.
- Continuer d'organiser des conférences, ateliers, séminaires et cours ciblés et opportuns.
    - Organiser 2 conférences majeures.
    - Tenir jusqu'à 10 ateliers et séminaires.
    - Organiser jusqu'à 10 ateliers et conférences en partenariat avec des organismes canadiens et étrangers.

Progrès accomplis en 2018-2019

Recrutement et contacts

Chaque année, des programmes comme l'USEQIP (*Undergraduate School for Experimental Quantum Information Processing* – École de 1er cycle sur le traitement quantique expérimental de l'information) amènent les étudiants de 1er cycle les meilleurs et les plus brillants au monde à envisager de faire des études supérieures à l'IQC. En 2018-2019, 288 étudiants ont posé leur candidature à l'USEQIP, ou à l'USEQIP et à une bourse de recherche de 1er cycle. De plus, 98 étudiants ont posé leur candidature uniquement à une bourse de recherche de 1er cycle. En tout, 21 étudiants d'institutions de premier plan du monde entier, dont l'Institut de technologie du Massachusetts, l'Institut indien de technologie et l'Université de Toronto, ont obtenu une bourse de recherche de 1er cycle. D'autre part, 38 assistants ont été embauchés directement par des professeurs de l'IQC pour des stages de recherche. Les postes d'assistant de recherche de 1er cycle offrent une occasion unique de travailler avec un professeur ou un professeur-chercheur adjoint et d'entrer en relation avec notre communauté de recherche interdisciplinaire.

L'IQC accorde une grande priorité au recrutement des chercheurs du plus haut calibre et au développement de talents. Le tableau ci-dessous résume le personnel hautement qualifié arrivé à l'Institut au cours de la dernière année.

Personnel hautement qualifié	Ontario	Autres provinces	Extérieur du Canada	Provenance inconnue	Total pour l'année	Total actuel
Professeurs et professeurs-chercheurs adjoints	–	–	1	–	1	32
Postdoctorants	4	1	20	–	25	48
Doctorants	–	–	16	1	17	89
Étudiants à la maîtrise	13	1	11	–	25	85
Étudiants de 1er cycle et équivalents (boursiers)	–	–	–		38/21	27
Total						**282**

Postdoctorants

Les postdoctorants sont des scientifiques en début de carrière qui ont de l'expérience et des idées nouvelles en matière de recherche en physique quantique. Les postes qu'ils occupent leur permettent de bénéficier de conseils de mentors, de publier leurs travaux, et d'acquérir une expérience de recherche et d'enseignement.

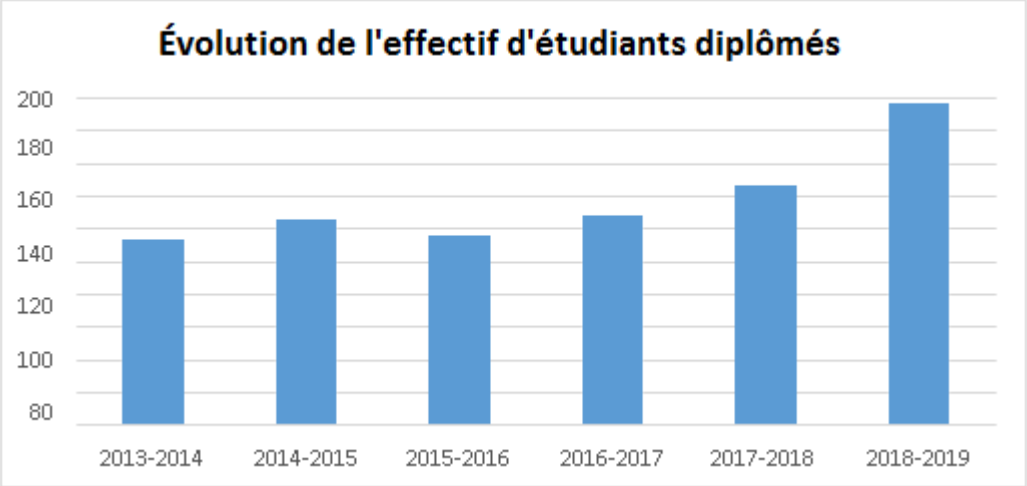
En 2018-2019, l'IQC a connu beaucoup de succès dans le recrutement de postdoctorants. L'IQC a accueilli 25 nouveaux postdoctorants, dépassant de beaucoup l'objectif de 5 et atteignent une augmentation de 38,89 % par rapport à l'année précédente.

L'IQC compte actuellement en tout 48 postdoctorants, dont 10 femmes (20,83 %) et 38 hommes (79,17 %). Les 25 nouveaux postdoctorants sont venus d'institutions de premier plan, énumérées dans le tableau ci-dessous. L'annexe E, à la page 51, donne la liste complète des postdoctorants à l'IQC.

Canada	USA	International
Université de Waterloo	Université d'État de Pennsylvanie	Université nationale de Singapour
Université de Toronto	Université du Maryland	Université de Berne
Université de Sherbrooke	Université atlantique de la Floride	Institut indien des sciences
		Université d'Aalto
		Université de Shanxi
		Université de Tianjin
		Université de Bristol
		Université de Rome « Tor Vergata »
		Université d'Aarhaus
		Université Paris-Sud
		Université de Copenhague
		Université d'Ulm

Étudiants

Au cours de la dernière année, l'IQC a accueilli 41 nouveaux étudiants diplômés sur un total de 268 candidatures, ce qui porte à 197 le nombre total d'étudiants à la maîtrise et au doctorat (respectivement 98 et 99) pour l'ensemble de l'année 2018-2019. Le nombre total d'étudiants diplômés au 31 mars 2019 était de 173 (84 à la maîtrise et 89 au doctorat).



L'annexe F, à la page 52, donne la liste complète des étudiants diplômés inscrits à l'IQC au cours du dernier exercice.

Bourses accordées à des étudiants

Cette année, les étudiants inscrits aux programmes d'études supérieures de l'IQC ont obtenu en tout 169 bourses. Ces bourses témoignent de l'excellence des étudiants en recherche et leur donnent les moyens financiers de se consacrer à leurs études.

Sur les 169 bourses accordées à 116 étudiants différents, 33 (19,5 %) ont été remises à 21 femmes (18,1 %).

Voici les bourses obtenues par ces étudiants au cours de l'année :

13 bourses Mike-et-Ophelia-Lazaridis
2 bourses d'admission de l'IQC
36 bourses pour étudiants étrangers – Doctorat
39 bourses pour étudiants étrangers – Maîtrise
1 bourse d'excellence de l'IQC
2 bourses David-Johnston de l'IQC pour le rayonnement scientifique
6 bourses d'études supérieures Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Doctorat
9 bourses d'études supérieures Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Maîtrise
7 bourses d'études supérieures du CRSNG – Doctorat
5 bourses d'études supérieures du Canada Vanier du CRSNG
9 bourses d'études supérieures de l'Ontario
32 bourses d'études supérieures du recteur
2 bourses du vice-recteur principal pour l'admission de femmes au doctorat

1 bourse Trillium de l'Ontario
3 bourses d'études supérieures Reine-Elizabeth-II en science et technologie

Intensification des liens avec des programmes de 1er cycle d'universités ontariennes et canadiennes

Le gestionnaire responsable de la vulgarisation scientifique à l'IQC a été invité à faire les 5 exposés énumérés ci-dessous à des étudiants de 1er cycle dans des universités des provinces de l'Atlantique. Organisés par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes, ces exposés portaient sur la deuxième révolution quantique.

- Université Memorial de Terre-Neuve, St John's, T.-N.-L., le 25 février; environ 25 étudiants
- Université Dalhousie, Halifax, N.-É., le 26 février; environ 60 étudiants
- Université de Moncton, Moncton, N.-B., le 27 février; environ 20 étudiants
- Université Mount Allison, Sackville, N.-B., le 28 février; environ 30 étudiants
- Université de l'Île-du-Prince-Édouard, Charlottetown, Î.-P.-É., le 1er mars, environ 30 étudiants

Cette tournée a été complétée par un exposé présenté par l'IQC à une vingtaine d'étudiants de 1er cycle à l'Université de Windsor, en Ontario.

Mouvements de personnel hautement qualifié

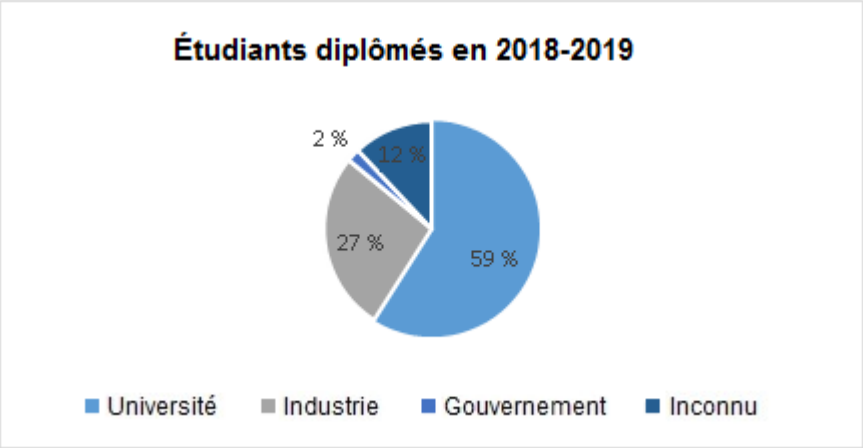
Au cours de l'année écoulée, des membres de l'IQC ont terminé leurs études et obtenu des places dans des programmes avancés, des bourses postdoctorales ou des postes de professeur, ou bien ont entrepris une carrière à l'extérieur du milieu universitaire. Le tableau ci-dessous résume les départs de personnel hautement qualifié de l'IQC au cours de la dernière année.

Type d'établissement	En Ontario	À l'extérieur de l'Ontario	Endroit inconnu	Totaux
Entreprises du secteur privé	2	1	–	3
Universités ou instituts de recherche financés par des fonds publics	7	–	–	7
Gouvernements ou organismes à but non lucratif	–	1	–	1
Autre	–	–	–	–
Inconnu	–	1	6	6
Totaux	9	3	6	18

Anciens de l'IQC

La carrière des anciens de l'IQC est un indicateur important de la qualité de ses programmes et du succès de ses étudiants. Au cours de l'exercice terminé, 18 étudiants ont obtenu leur diplôme — 10 maîtrises et 8 doctorats —, portant à 215 le nombre total de diplômés de l'IQC. Ces chercheurs ont décidé de faire carrière dans le milieu universitaire, au gouvernement ou dans l'entreprise privée, en Ontario ou ailleurs dans le monde. Des 18 diplômés de cette année, 4 sont des femmes : 2 ont trouvé un emploi dans le secteur de la technologie, et 1 est restée en milieu universitaire (la destination de la 4e est inconnue).

Le graphique ci-dessous montre la répartition des anciens de l'IQC. Plus précisément, 59 % des diplômés de l'IQC sont restés dans le milieu universitaire, 27 % sont passés au secteur privé, et 2 % travaillent en milieu gouvernemental.



Continuer d'organiser des conférences, ateliers, séminaires et cours ciblés et opportuns.

Une communauté forte et stimulante de recherche est l'un des ingrédients requis pour recruter des cerveaux et les conserver. L'IQC est fier d'être un institut de premier plan qui participe à de nombreuses activités nationales et internationales — conférences, ateliers et séminaires — organisées par et pour des chercheurs. Cela a beaucoup d'importance, car ces rencontres favorisent la collaboration et les échanges d'idées.

Au cours de la dernière année, l'IQC a organisé 3 conférences majeures, 2 ateliers, 43 séminaires et 21 colloques, en plus de parrainer 11 conférences tenues par des organismes partenaires ailleurs dans le monde. Voici les points saillants d'activités majeures organisées et commanditées pendant l'année.

Conférences majeures

En 2018-2019, l'IQC a organisé 3 conférences majeures pour des participants venus du monde entier. Voir à la page 34 les détails de ces conférences.

En plus d'organiser ces conférences, les professeurs de l'IQC ont été invités à faire des exposés à 114 autres conférences dans le monde entier. L'annexe G, à la page 55, donne la liste de ces conférences et des invitations à faire des exposés.

Ateliers

L'IQC a organisé 2 ateliers au cours de l'exercice terminé. Les 5 et 6 juillet, un atelier sur les **preuves de sécurité en distribution quantique de clés (DQC)** a réuni des experts en analyse de sécurité de la DQC pour parler de différentes méthodes d'analyse de sécurité, et d'autres sujets tels que les effets d'un système de taille finie, la diminution des suppositions nécessaires, etc. À la fin novembre, l'IQC a organisé son **atelier Schrödinger** annuel pour 39 enseignants de partout en Amérique du Nord. Ces enseignants ont assisté à des exposés et participé à des activités pratiques portant sur l'intégration de la technologie quantique dans le programme scolaire actuel.

Séminaires et colloques

Avec des activités presque chaque semaine, 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 43 séminaires et 21 colloques. L'annexe H, à la page 62, donne la liste complète de ces séminaires et colloques.

Conférences parrainées

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. Cette année, l'IQC a parrainé les 11 activités énumérées ci-dessous.

Dates	Activité	Lieu
Du 24 au 26 mai	Spin Canada	Université de Calgary
Du 3 au 7 juin	Physique et logique quantiques	Université Dalhousie
Du 7 au 9 juin	Théorie Canada 13	Université Saint-François-Xavier
Le 7 juin	Atelier sur les états et la dynamique des systèmes à N corps	IQC et Institut Périmètre
Du 23 au 27 juillet	Preuves de sécurité en distribution quantique de clés	IQC
Du 17 au 20 juillet	Les femmes et la physique au Canada	Université de Sherbrooke
Du 15 au 18 août	Conférence canadienne des étudiants de 1er cycle en physique	Université de l'Alberta
Du 2 au 6 octobre	Conférence IQC-Chine sur les technologies quantiques	IQC
Du 22 au 26 octobre	Virage quantique : changement de paradigme en sciences	Université fédérale de Santa Catarina
Du 14 au 18 janvier	Traitement quantique de l'information	Université du Colorado à Boulder
Du 18 au 20 janvier	Conférence canadienne pour les étudiantes de 1er cycle en physique	Université d'Ottawa

Objectif C

Positionner le Canada comme la destination de choix pour la recherche sur les technologies quantiques et attirer au Canada les meilleurs au monde, en mettant sur pied des partenariats avec la communauté internationale de l'information quantique de même qu'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.

- Agir comme catalyseur de collaborations entre scientifiques de l'information quantique d'un bout à l'autre du Canada et dans le monde.
- 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 au moins 4 conférences comportant une participation pluridisciplinaire.
- Poursuivre, améliorer et étendre le programme de visites de scientifiques et d'universitaires.

Progrès accomplis en 2018-2019

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

Debbie Leung, professeure à l'IQC, a participé à une table ronde sur la construction d'ordinateurs quantiques lors de la réunion annuelle de l'Association américaine pour l'avancement de la science (AAAS), qui a eu lieu en février à Washington, D.C. Mme Leung a exposé comment l'accélération de la résolution de problèmes de calculs à l'aide de la mécanique quantique dépend d'un contrôle précis du système quantique grâce à un vaste et fragile espace d'états. Elle a abordé les sujets suivants : le degré de précision et les ressources nécessaires pour effectuer des calculs quantiques à grande échelle; les raisons pour lesquelles cela devrait être faisable; les éléments qui ont fait l'objet de démonstration jusqu'à ce jour; les obstacles qui restent à franchir; le degré d'optimisme que nous devrions avoir.

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

La participation à des conférences organisées par des tiers, centrées sur la convergence de la physique quantique et de l'industrie, est devenue cette année un moyen important de rechercher de nouveaux partenaires.

- À la mi-septembre, l'IQC a envoyé une délégation au Sommet annuel de l'IA qui s'est tenu à San Francisco. Un volet du sommet, qui a réuni 4 000 délégués provenant surtout de l'industrie, portait sur la physique quantique. La professeure Na Young Kim a eu l'occasion de présenter l'IQC et son modèle. Des membres de l'équipe des communications de l'IQC ont tenu un stand pendant toute la durée du sommet.
- En octobre, l'Institut Hudson de Washington, D.C., a organisé un sommet d'une journée intitulé *Canada's Quantum Valley: An Integrated Pathway to the High-Tech Future* (La *Quantum Valley* canadienne : une voie intégrée vers un avenir de haute technologie), auquel ont participé une centaine de personnes. Raymond Laflamme et

Joseph Emerson, professeurs à l'IQC, étaient parmi les conférenciers qui ont présenté l'écosystème formé autour de l'Université de Waterloo.

- En novembre, l'IQC a participé à la Conférence sur les politiques scientifiques canadiennes et a animé une table ronde sur la manière dont l'écosystème d'innovation de Waterloo se distingue par sa politique relative à la propriété intellectuelle (celle-ci appartient aux inventeurs), ses programmes d'entrepreneuriat, ses incubateurs d'entreprises et ses solides partenariats industriels. Dans le cadre de cette table ronde, Kristine Boone, chercheuse à l'IQC, a fait part de son double point de vue de doctorante et d'entrepreneure dans le domaine quantique.
- Également en novembre, Tracey Forrest (gestionnaire de programme, Technologies quantiques transformatrices) a participé à la foire nationale des technologies quantiques du Royaume-Uni. Tenue à Londres, cette activité a mis en évidence les progrès du Programme national de recherche du Royaume-Uni sur les technologies quantiques, sa pertinence pour le secteur des entreprises, de même que sa nature collaborative, avec la participation de partenaires universitaires, industriels et gouvernementaux.
- En décembre, l'IQC a participé à la 2e conférence annuelle *Quantum for Business* (Physique quantique pour l'entreprise), à Mountain View, en Californie. L'Institut y a tenu un stand de l'exposition commerciale. Vlad Gheorghiu, postdoctorant à l'IQC et entrepreneur, a présenté un exposé intitulé *Quantum Threat: What Matters Today?* (La menace quantique : qu'est-ce qui compte aujourd'hui?)
- En mars, des représentants de l'IQC ont participé à Boston à la première conférence *Inside Quantum Technology* (Au cœur de la technologie quantique). L'IQC y avait un stand, les professeurs Joseph Emerson et Michele Mosca ont pris la parole dans des tables rondes, et Joseph Emerson a prononcé une conférence principale. La conférence a surtout porté sur l'avenir du calcul, de la cryptographie et des capteurs quantiques. Elle visait à explorer les possibilités qui se présentent pour les entreprises et les administrations gouvernementales.

L'annexe G, à la page 55, donne la liste complète des conférences internationales auxquelles les professeurs de l'IQC ont participé cette année.

Produire des publications de haut calibre, reconnues à l'échelle internationale, dont certains auteurs sont des chercheurs de l'IQC.

Les chercheurs de l'IQC collaborent régulièrement avec d'autres chercheurs et scientifiques du monde entier, afin de créer des réseaux scientifiques qui produisent des recherches du plus haut calibre. Environ 70 % de tous les articles des chercheurs de l'IQC sont écrits en collaboration avec des chercheurs de l'extérieur du Canada. L'annexe B, à la page 43, donne la liste des 136 articles publiés cette année. L'annexe D, à la page 49, donne la liste des collaborations actives auxquelles participe chaque chercheur de l'IQC.

Organiser au moins 4 conférences comportant une participation pluridisciplinaire.

Les 3 conférences ci-dessous ont été organisées et présentées par l'IQC au cours de la dernière année.

- **Conférence IQC-Chine sur les technologies quantiques**, du 2 au 6 octobre
  - Cette conférence a réuni environ 60 scientifiques de Chine et du Canada, dans le but de susciter des collaborations plus étendues et de former les jeunes générations.
- **Innovateurs dans le domaine quantique – Sciences et génie**, du 15 au 18 octobre
  - Tenue à l'IQC la conférence *Quantum Innovators* en sciences et génie a réuni les jeunes chercheurs les plus prometteurs en physique et génie quantiques.
- **Innovateurs dans le domaine quantique – Informatique et mathématiques**, du 22 au 25 octobre
  - La 2e conférence annuelle *Quantum Innovators* en informatique et mathématiques a réuni de jeunes chercheurs travaillant sur les aspects théoriques de l'information et du calcul quantiques en informatique et en mathématiques. Pendant 4 jours, les participants se sont aventurés aux limites de leur domaine.

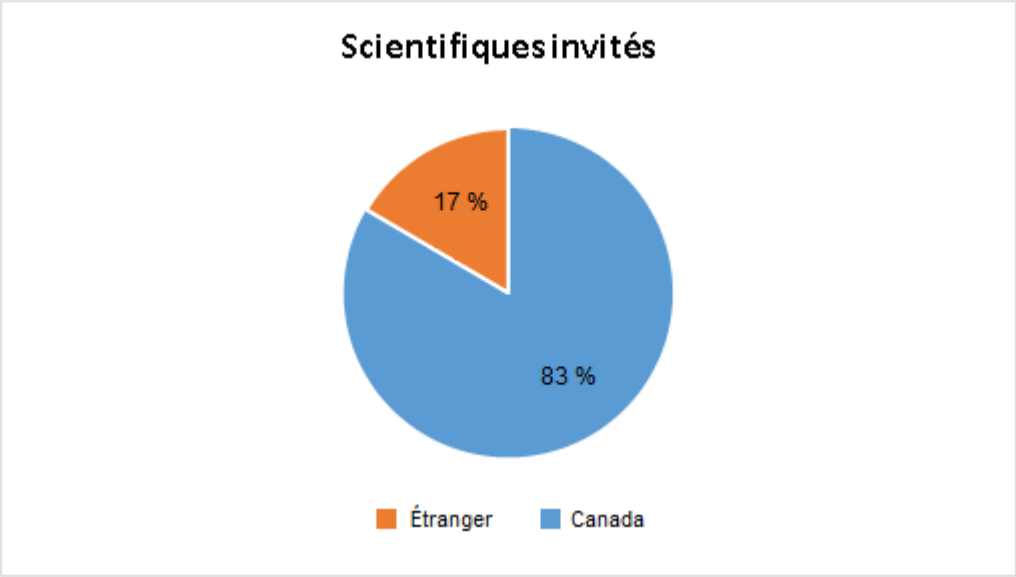
Poursuivre, améliorer et étendre le programme de visites de scientifiques et d'universitaires du monde entier à l'IQC.

Scientifiques invités

Chaque année, les professeurs et les étudiants de l'IQC accueillent des scientifiques invités appartenant à des organismes 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. Cette année, les chercheurs de l'IQC ont accueilli en tout 149 scientifiques de 122 organismes différents, pour un total de 157 séjours.

La réputation internationale de l'IQC est vraiment impressionnante, avec des visiteurs venant des États-Unis (Université du Colorado à Boulder, Institut de technologie du Massachusetts, Université Stanford, Université de Princeton) et d'outremer (Université Tsinghua, Université de technologie de Delft, Université de Cambridge, Université d'Innsbruck, Université de Sydney). En 2018-2019, 83 % des scientifiques invités sont venus de l'étranger.

Au pays, l'IQC continue d'intensifier ses liens avec d'autres universités et organismes canadiens en science et technologie de l'information quantique. Cette année, l'IQC a accueilli des visiteurs canadiens d'une variété d'institutions, dont l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université du Manitoba, l'Université de l'Alberta et l'Université de Sherbrooke. L'annexe I, à la page 65, donne la liste complète des scientifiques qui ont rendu visite à l'IQC.



Visites guidées

L'organisation de réunions et de visites guidées pour des représentants des secteurs industriel, universitaire et gouvernemental constitue une partie importante des activités de rayonnement de l'IQC. En 2018-2019, l'IQC a reçu de nombreuses demandes de personnes voulant visiter l'Institut et ses installations, rencontrer des chercheurs et se renseigner sur l'Institut, ses activités et les possibilités d'investissement, de partenariat et de formation. Au cours de la dernière année, les professeurs et le personnel de l'IQC ont accueilli plus de 440 visiteurs. L'annexe J, à la page 69, donne la liste complète des visites guidées organisées.

Objectif D

Améliorer et étendre les activités publiques de formation et de diffusion des connaissances de l'Institut, afin de promouvoir effectivement la science et l'informatique quantique, et de montrer comment la recherche sur l'information quantique peut servir à soutenir et à attirer des talents de calibre mondial.

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

- Organiser les écoles d'été USEQIP (1er cycle universitaire) et QCSYS (niveau secondaire).
- Organiser le 4e atelier Schrödinger annuel pour enseignants.
- Organiser des conférences publiques.
- Tenir l'exposition *QUANTUM* à Toronto, au Centre des sciences de l'Ontario.
- Continuer de faire voyager l'exposition mobile.
- Établir des liens avec d'importants partenaires stratégiques, afin de diffuser davantage les découvertes résultant des recherches de l'IQC.

Progrès accomplis en 2018-2019

Organiser 2 importantes écoles d'été, l'une du niveau du 1er cycle universitaire et l'autre du niveau secondaire.

USEQIP

« L'USEQIP a été une expérience tout à fait extraordinaire. Non seulement les cours et les séances de laboratoire étaient intéressants, mais ce fut une occasion unique de passer du temps avec d'autres excellents étudiants venus du monde entier. La curiosité manifestée par tous — des étudiants aux professeurs titulaires — m'a donné le goût d'assister à une révolution quantique dans un avenir rapproché. » [traduction]

– Un participant à l'USEQIP en 2018

Du 28 mai au 8 juin, l'IQC a tenu son école d'été annuelle USEQIP (*Undergraduate School for Experimental Quantum Information Processing* – École de 1er cycle sur le traitement quantique expérimental de l'information).

Sur 288 candidats, 16 femmes et 15 hommes (soit 1 personne sur 9 candidats) ont été acceptés dans ce programme théorique et pratique sur l'information quantique.

Les participants sont venus de toutes les régions du Canada ainsi que des pays suivants : États-Unis, Inde, Royaume-Uni, France, Grèce, Allemagne, Russie, Serbie, Espagne, Chili, Mexique et Chine.

Dans un sondage mené auprès des participants après l'école d'été, 100 % d'entre eux se sont dits d'accord ou fortement d'accord avec le fait que le programme leur a donné les outils nécessaires pour commencer à étudier en informatique quantique, et 89,5 % ont dit qu'ils prendront l'initiative d'encourager d'autres étudiants à se porter candidats à l'USEQIP. Parmi les répondants, 91 % se sont dits d'accord ou fortement d'accord avec le fait qu'ils n'auraient pas pu apprendre ailleurs au cours de leurs études de 1er cycle ce qu'ils ont appris à l'USEQIP.

QCSYS

Du 10 au 17 août, l'IQC a tenu son école d'été annuelle QCSYS (*Quantum Cryptography School for Young Students* – École de cryptographie quantique pour jeunes étudiants). Cette année, l'IQC a reçu 242 candidatures d'élèves du secondaire de partout dans le monde et a invité à Waterloo 44 participants (soit 1 personne sur 5 candidats), pour voir de près la physique et la mathématique de la mécanique quantique et de la cryptographie, et comment les deux forment ensemble l'un des domaines les plus passionnants de la science contemporaine — la cryptographie quantique. Les participants acceptés étaient des femmes et des hommes en nombre égal. Les pays représentés étaient le Canada, les États-Unis, la Grèce, l'Inde, le Bangladesh, la Pologne, Singapour et le Royaume-Uni.

Dans un sondage mené auprès des participants après l'école d'été, 100 % d'entre eux ont estimé que le programme était excellent (88 %) ou bon (12 %). Tous les répondants se sont dits d'accord (50 %) ou fortement d'accord (50%) avec le fait que QCSYS les a amenés à considérer ce dont ils auraient besoin pour faire carrière en informatique quantique. Parmi les répondants, 94 % se sont dits fortement d'accord, et 6 % d'accord, avec le fait que QCSYS les a exposés à des idées non abordées dans leur cours secondaire.

Les candidatures ont déjà été reçues pour la promotion 2019 de QCSYS. Elles sont en augmentation de 21,7 % par rapport à l'an dernier, et les candidatures féminines sont en augmentation de 26 %.

Organiser le 4e atelier annuel pour enseignants.

Atelier Schrödinger

Du 30 novembre au 2 décembre, l'IQC a tenu son 4e atelier annuel Schrödinger pour enseignants. Après avoir reçu 91 candidatures d'enseignants de toutes les régions du Canada et des États-Unis, l'IQC a envoyé 40 invitations, et 39 enseignants — 20 hommes et 19 femmes — sont venus à Waterloo assister à des exposés et participer à des travaux pratiques centrés sur l'intégration des technologies quantiques dans leur programme d'enseignement actuel. Cet atelier a donné aux participants la capacité d'enseigner la mécanique quantique au-delà des notions élémentaires et de discuter des progrès récents dans le domaine. Les participants sont également repartis avec des plans de cours et d'autres activités de niveau adapté et prêtes à utiliser en classe.

Conférences publiques

L'an dernier, l'IQC a mis sur pied une nouvelle série de conférences publiques, intitulée *Entangled* (Intrication). La première conférence de cette série a eu lieu le 26 avril. Intitulée *Quantum Fiction: The Entanglement of Physics and Literature* (Fiction quantique : intrication de la physique et de la littérature), elle a été prononcée par Chad Orzel, auteur et professeur à Union College. Le conférencier a décrit certains des phénomènes les plus étranges de la mécanique quantique — tels que l'intrication, la mesure quantique et le fameux chat de Schrödinger —, puis a exposé comment ces phénomènes se manifestent dans la littérature et le cinéma. Après sa conférence, M. Orzel a aussi été invité à écrire dans le magazine *Forbes* un article sur ses travaux.

En septembre, la 2e conférence de la série *Entangled* (Intrication) a mis en vedette Chris Ferrie, diplômé de l'IQC, qui a parlé de physique quantique et de vocation scientifique. Il a raconté son parcours, celui de quelqu'un qui a grandi à l'ère numérique. Selon lui, l'une des principales leçons qu'il a tirées de son parcours, c'est que les enfants profiteront des occasions qui leur seront offertes, mais seulement si leurs parents et leurs enseignants manifestent un intérêt authentique pour les activités qui créent ces occasions.

L'IQC s'est ensuite associé à l'Institut royal canadien pour la science (RCIS) afin d'organiser 2 conférences publiques dans le cadre de la série *Entangled* (Intrication). Le 1er novembre, Martin Laforest a été le conférencier à l'activité *Quantum + Beer* (Physique quantique et bière) au bar Patent Social, à Waterloo. Le 15 novembre, John Donohue a fait à l'IQC un exposé sur la physique quantique et la culture populaire. Environ 70 personnes ont assisté à chacune de ces conférences.

Tenir l'exposition *QUANTUM* à Toronto, au Centre des sciences de l'Ontario.

À la fin août, l'IQC a installé l'exposition *QUANTUM* pour la 7e étape de son parcours, au Centre des sciences de l'Ontario, à Toronto. L'exposition y est restée jusqu'au 6 janvier et a attiré plus de 294 000 visiteurs. En octobre, l'IQC a collaboré avec le personnel du Centre des sciences pour organiser à Toronto des programmes personnalisés de sensibilisation à la physique quantique et à la technologie de l'information.

Continuer de faire voyager l'exposition mobile.

D'octobre 2018 à février 2019, l'exposition mobile *QUANTUM* a été présentée au Centre des sciences de la Saskatchewan, à Regina, où elle a attiré 14 500 visiteurs.

Le 11 février, Journée internationale des femmes et des filles de science, le personnel de vulgarisation scientifique de l'IQC a profité de l'occasion pour organiser conjointement avec le Centre des sciences une activité destinée aux filles de la Saskatchewan. Julia Maristany et Nairong Hou, chercheuses à l'IQC, ont fait partie des 5 femmes panélistes qui se sont adressées à une centaine d'élèves du secondaire. Cette table ronde a porté sur les carrières en STGM pour les femmes et sur les obstacles que celles-ci doivent surmonter.

Établir des liens avec d'importants partenaires stratégiques, afin de diffuser davantage les découvertes résultant des recherches de l'IQC.

L'IQC a régulièrement des occasions de nouveaux partenariats avec des groupes de vulgarisation scientifique. Cette année, l'IQC a participé pour la première fois à l'Expo-sciences pancanadienne annuelle du CRSNG et y a présenté l'exposition mobile *QUANTUM*. Cette activité, qui fait partie de l'initiative nationale *Odyssée des sciences*, a attiré environ 10 000 élèves venus de toutes les régions du Canada. L'IQC compte poursuivre cette relation en participant à des activités à venir.

Comme on l'a vu plus haut, l'IQC a également pu conclure un nouveau partenariat avec l'Institut royal canadien pour la science (RCIS), qui a pour but de permettre au public d'accéder à des conférences dans une grande variété de disciplines scientifiques. L'IQC a conclu avec plaisir un partenariat avec le RCIS pour la série de conférences *Entangled* (Intrication). L'équipe de vulgarisation scientifique de l'IQC compte intensifier ce partenariat afin d'atteindre chaque année un plus grand nombre de personnes.

Continuer de faire connaître les recherches de l'IQC par le truchement de publications, de sites web et de médias sociaux.

Communications

L'équipe des communications de l'IQC veille à ce que les chercheurs et leurs travaux soient reconnus dans le monde par le truchement de publications, de communiqués de presse ainsi que d'Internet.

Publications

Cette année, l'IQC a eu l'honneur de recevoir 2 prix pour son rapport annuel 2017. Cette édition spéciale du 15e anniversaire a obtenu en 2018 un prix d'excellence en publication (APEX). Les prix APEX 2018 récompensaient l'excellence de la conception graphique, le contenu éditorial et le succès avec lequel — de l'avis des juges — le document satisfaisait à des critères d'efficacité et d'excellence en communication. Sur 1 408 rapports annuels soumis, 41 ont obtenu un prix. De plus, le rapport annuel 2017 de l'IQC a reçu du Conseil pour l'avancement et le soutien de l'éducation (CASE) un prix Accolade d'or 2019 dans la catégorie des rapports annuels ou institutionnels imprimés.

Couverture médiatique

Avec une intense activité quotidienne et de nombreux comptes rendus de recherches publiés chaque année, l'équipe des communications de l'IQC s'efforce de promouvoir les travaux de l'Institut dans les principaux médias. Cette année, on a relevé environ 1 286 mentions de l'IQC dans les médias, pour un total de 488 297 629 impressions (nombre de visionnements d'une publication dans une source).

Médias sociaux

Pendant toute l'année écoulée, l'IQC a bénéficié d'une croissance soutenue 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 1er avril 2018 au 31 mars 2019.

	Nouveaux abonnés	Nombre total d'abonnés	Augmentation
YouTube	873	5 196	20 %
Facebook	2 539	14 703	21 %
Twitter	1 315	12 098	12 %
Instagram	120	653	23 %

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. Les quelques exemples ci-dessous, tirés de l'année écoulée, montrent que l'IQC est un chef de file dans le domaine de l'information quantique.

- Une vidéo sur Steven Girven et l'effet Hall quantique, qui était présente dans le canal YouTube de l'IQC, a fait l'objet d'une pointe de visionnements pendant l'hiver 2018. En cherchant la raison de cette pointe, l'IQC s'est rendu compte qu'elle a immédiatement suivi la parution d'un article publié par un chercheur externe à l'IQC sur le même sujet. Il semble que les abonnés en ligne ont eu recours à l'IQC pour en apprendre davantage sur le sujet. La vidéo de l'IQC a été partagée 271 fois et a totalisé plus du tiers des vidéos les plus partagées au cours du 1er trimestre de l'année. Pendant cette brève période, le canal YouTube de l'IQC a connu une augmentation de 86 abonnés.

- L'IQC a également testé l'an dernier une nouvelle initiative dans les médias sociaux, exploitant la grande popularité du « monde quantique » décrit dans le film *Ant-Man et la guêpe* (sorti en juillet 2018). La sortie du film a fourni une occasion d'entrer en contact avec des publics inhabituels pour l'IQC — les cinéphiles et les amateurs de superhéros —, qui ne connaissent pas nécessairement par ailleurs la physique quantique. La campagne visait à intéresser et sensibiliser les cinéphiles à la physique quantique, en diffusant par le truchement des médias sociaux des fiches, des vidéos YouTube pertinentes et la page Web *Quantum Toolbox* (Boîte à outils quantique) de l'IQC. Avec un petit investissement en publicité payante dans les médias sociaux, cette campagne, qui ne comprenait que 11 gazouillis et 5 messages postés dans Facebook diffusés pendant le mois de juillet, a produit les résultats suivants :

    - dans Twitter, 20 258 impressions et 149 nouveaux abonnés;
    - dans Facebook, 14 880 consultations et 103 nouveaux « J'aime »;
    - consultation de la page Web *Informatique quantique 101*, avec une durée moyenne de lecture de 5 min 52 s, soit beaucoup plus que la norme de référence de 2 min 31 s;
    - un temps total de visionnement dans YouTube de 283 minutes, une pointe de la durée de visionnement, et 181 nouveaux abonnés.

Ces exemples illustrent le statut de l'IQC comme autorité dans le domaine de l'information quantique et montrent jusqu'à quel point les utilisateurs se fient à l'information fournie par l'Institut.

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.

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 en 2018-2019

- Poursuivre le développement du programme d'entreprises affiliées.
- Fournir aux chercheurs de l'IQC des possibilités 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.

Progrès accomplis en 2018-2019

L'IQC est un acteur-clé dans l'écosystème de la science, de la technologie et de l'innovation en physique quantique, car il continue de créer un milieu qui favorise l'entrepreneuriat et soutient la commercialisation de technologies quantiques.

En mars 2019, les membres du corps professoral de l'IQC détenaient collectivement plus de 44 brevets accordés et 30 licences, dont 3 nouveaux brevets accordés en 2018-2109. En tout, les professeurs de l'IQC ont plus de 50 demandes de brevet en attente d'approbation.

Le nombre d'entreprises issues de l'essaimage à partir de l'IQC a également augmenté au cours de la dernière année. À ce jour, les 14 entreprises suivantes sont nées par suite de recherches menées à l'IQC, toutes dans le domaine de l'information quantique :

- EvolutionQ
- High Q Technologies LP
- Neutron Optics
- Quantum Benchmarking inc.
- QuantumLaf inc.
- QuSpin Technologies inc.
- Universal Quantum Devices
- Single Quantum Systems
- Aurora Quantum Technologies (auparavant QSpiceLabs)
- QEYnet
- SoftwareQ inc.
- Everettian
- Aegis Quantum
- SpinQ

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.*

ANNEXES

A. Stratégies d'évaluation et de mitigation des risques

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

Facteur de risque	Conséquences	Probabilité	Cote de risque	Explication de la cote de risque	Mesures d'atténuation
L'IQC pourrait ne pas réussir à attirer des chercheurs de fort calibre.	Importantes	Moyenne	8	Le marché des chercheurs de classe mondiale est de plus en plus compétitif, car de nombreux pays font d'importants investissements.	Poursuivre les efforts de recrutement dans une vaste gamme de domaines de recherche. Offrir des conditions d'emploi concurrentielles. Promouvoir de manière adéquate les chercheurs de calibre mondial ainsi que les installations et les équipements d'avant-garde de l'IQC. Investir davantage dans des laboratoires de pointe.
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 (permettant ainsi à l'IQC de se distinguer de ses concurrents). Continuer de faire des demandes de fonds de recherche, afin d'acquérir de l'équipement de pointe.
L'IQC pourrait ne pas réussir à recruter suffisamment de personnel hautement qualifié.	Importantes	Faible	6	Beaucoup de personnes hautement qualifiées viennent de pays potentiellement instables sur le plan politique (notamment l'Iran, la Chine et l'Inde).	Promouvoir suffisamment l'IQC. Veiller à faire de la recherche d'excellente qualité. Diversifier les milieux et les pays où l'IQC recrute des étudiants.
Des contraintes opérationnelles limitent les efforts de promotion de l'IQC.	Importantes	Faible	6	Les contraintes opérationnelles comprennent des limites quant aux ressources (notamment le personnel) et à la souplesse de fonctionnement.	Faire les bons choix de personnel, de talents et de compétences. Élaborer et mettre en œuvre un plan de projet relatif à l'image de marque de l'IQC. Favoriser d'étroites relations de collaboration avec des entités appropriées au sein de l'université.

B. Publications

Du 1er avril 2018 au 31 mars 2019

1. Ahmadzadegan, A., & Kempf, A. (2018). On the Unruh effect, trajectories and information. Classical and Quantum Gravity, 35(18).
2. Al Balushi, A., Cong, W., & Mann, R. B. (2018). Optomechanical quantum Cavendish experiment. Physical Review A, 98(4).
3. Altamirano, N., Corona-Ugalde, P., Mann, R. B., & Zych, M. (2018). Gravity is not a pairwise local classical channel. Classical and Quantum Gravity, 35(14).
4. Amy, M., Azimzadeh, P., & Mosca, M. (2019). On the controlled-NOT complexity of controlled-NOT- phase circuits. Quantum Science and Technology, 4(1).
5. Ashenfelter, J., Balantekin, A. B., Baldenegro, C., Band, H. R., Bass, C. D., Bergeron, D. E., et al. (2018). First Search for Short-Baseline Neutrino Oscillations at HFIR with PROSPECT. Physical Review Letters, 121(25).
6. Ashenfelter, J., Balantekin, A. B., Band, H. R., Bass, C. D., Bergeron, D. E., Berish, D., et al. (2018). Performance of a segmented Li-6-loaded liquid scintillator detector for the PROSPECT experiment. Journal of Instrumentation, 13.
7. Beale, S. J., Wallman, J. J., Gutierrez, M., Brown, K. R., & Laflamme, R. (2018). Quantum Error Correction Decoheres Noise. Physical Review Letters, 121(19).
8. Behrend, K., & Ronagh, P. (2019). The inertia operator on the motivic Hall algebra. Compositio Mathematica, 155(3), 528-598.
9. Berry, D. W., Kieferova, M., Scherer, A., Sanders, Y. R., Low, G. H., Wiebe, N., et al. (2018). Improved techniques for preparing eigenstates of fermionic Hamiltonians. Npj Quantum Information, 4.
10. Boone, K., Carignan-Dugas, A., Wallman, J. J., & Emerson, J. (2019). Randomized benchmarking under different gate sets. Physical Review A, 99(3).
11. Bravyi, S., Gosset, D., & Konig, R. (2018). Quantum advantage with shallow circuits. Science, 362(6412), 308-+.
12. Buchmann, J., Lauter, K., & Mosca, M. (2018). Postquantum Cryptography, Part 2. Ieee Security & Privacy, 16(5), 12-13.
13. Buhariwalla, C. R. C., Ma, Q., DeBeer-Schmitt, L., Xie, K. G. S., Pomaranski, D., Gaudet, J., et al. (2018). Long-wavelength correlations in ferromagnetic titanate pyrochlores as revealed by small-angle neutron scattering. Physical Review B, 97(22).
14. Carignan-Dugas, A., Boone, K., Wallman, J. J., & Emerson, J. (2018). From randomized bench marking experiments to gate-set circuit fidelity: how to interpret randomized benchmarking decay parameters. New Journal of Physics, 20.
15. Chamberland, C., & Ronagh, P. (2018). Deep neural decoders for near term fault-tolerant experiments. Quantum Science and Technology, 3(4).
16. Chang, C. W.S., Simoen, M., Aumentado, J., Sabin, C., Forn-Diaz, P., Vadiraj, A. M., et al. (2018). Generating Multimode Entangled Microwaves with a Superconducting Parametric Cavity. Physical Review Applied, 10(4).
17. Chang, C. W. S., Vadiraj, A. M., Bourassa, J., Balaji, B., &Wilson, C. M. (2019). Quantum-enhanced noise radar. Applied Physics Letters, 114(11).
18. Chen, A. X., Zhang, L. J., & Deng, L. (2018). Controllable diffraction pattern in semiconductor quantum well based on quantum coherence. Annals of Physics, 396, 459-467.
19. Chen, L., & Dokovic, D. Z. (2018). Multiqubit UPB: the method of formally orthogonal matrices. Journal of Physics a-Mathematical and Theoretical, 51(26).
20. Conrad, J., Chamberland, C., Breuckmann, N. P., & Terhal, B. M. (2018). The small stellated dodecahedron code and friends. Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences, 376(2123).
21. de la Barrera, S. C., Sinko, M. R., Gopalan, D. P., Sivadas, N., Seyler, K. L., Watanabe, K., et al. (2018). Tuning Ising superconductivity with layer and spin-orbit coupling in two-dimensional transition- metal dichalcogenides. Nature Communications, 9.
22. de Ramon, J., Garay, L. J., & Martin-Martinez, E. (2018). Direct measurement of the two-point function in quantum fields. Physical Review D, 98(10).
23. Dokovic, D. Z., & Kotsireas, I. S. (2018). Goethals-Seidel Difference Families with Symmetric or Skew Base Blocks. Mathematics in Computer Science, 12(4), 373-388.
24. Doliskani, J. (2018). On division polynomial PIT and supersingularity. Applicable Algebra in Engineering Communication and Computing, 29(5), 393-407.
25. Doliskani, J. (2019). TOWARD AN OPTIMAL QUANTUM ALGORITHM FOR POLYNOMIAL FACTORIZATION OVER FINITE FIELDS. Quantum Information & Computation, 19(1-2), 1-13.

26. Doliskani, J., Giorgi, P., Lebreton, R., & Schost, E. (2018). Simultaneous Conversions with the Residue Number System Using Linear Algebra. Acm Transactions on Mathematical Software, 44(3).
27. Duan, B. J., Yuan, J. B., Xu, J., & Li, D. (2019). Quantum algorithm and quantum circuit for A-optimal projection: Dimensionality reduction. Physical Review A, 99(3).
28. Dykema, K., Paulsen, V. I., & Prakash, J. (2018). THE DELTA GAME. Quantum Information & Computation, 18(7-8), 599-616.
29. Dykema, K., Paulsen, V. I., & Prakash, J. (2019). Non-closure of the Set of Quantum Correlations via Graphs. Communications in Mathematical Physics, 365(3), 1125-1142.
30. Earnest, C. T., Bejanin, J. H., McConkey, T. G., Peters, E. A., Korinek, A., Yuan, H., et al. (2018). Substrate surface engineering for high-quality silicon/aluminum superconducting resonators. Superconductor Science & Technology, 31(12).
31. Elshaari, A. W., Buyukozer, E., Zadeh, I. E., Lettner, T., Zhao, P., Scholl, E., et al. (2018). Strain- Tunable Quantum Integrated Photonics. Nano Letters, 18(12), 7969-7976.
32. Feng, G. R., Cho, F. H., Katiyar, H., Li, J., Lu, D. W., Baugh, J., et al. (2018). Gradient-based closed- loop quantum optimal control in a solid-state two-qubit system. Physical Review A, 98(5).
33. Fognini, A., Ahmadi, A., Daley, S. J., Reimer, M. E., & Zwiller, V. (2018). Universal fine-structure eraser for quantum dots. Optics Express, 26(19), 24487-24496.
34. Freeman, C. D., Sarovar, M., Herdman, C. M., & Whaley, K. B. (2018). Stable quantum memories with limited measurement. Physical Review A, 98(3).
35. Gagnon, D., Dumont, J., Fillion-Gourdeau, F., & MacLean, S. (2018). Pulse shaping in the terahertz frequency range for the control of photo-excited carriers in graphene. Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics, 35(12), 3021-3029.
36. Gelbwaser-Klimovsky, D., Bylinskii, A., Gangloff, D., Islam, R., Aspuru-Guzik, A., & Vuletic, V. (2018). Single-Atom Heat Machines Enabled by Energy Quantization. Physical Review Letters, 120(17).
37. Gheorghiu, V. (2018). Quantum plus plus : A modern C plus plus quantum computing library. Plos One, 13(12).
38. Ghosh, D., Jennewein, T., Kolenderski, P., & Sinha, U. (2018). Spatially correlated photonic qutrit pairs using pump beam modulation technique. Osa Continuum, 1(3), 996-1011.
39. Ghosh, S., Adhikary, A., & Paul, G. (2019). Revisiting integer factorization using closed timelike curves. Quantum Information Processing, 18(1).
40. Girard, M. W., & Gour, G. (2018). Computable entanglement conversion witness that is better than the negativity (vol 17, 093013, 2015). New Journal of Physics, 20.
41. Grassl, M., Kong, L. H., Wei, Z. H., Yin, Z. Q., & Zeng, B. (2018). Quantum Error-Correcting Codes for Qudit Amplitude Damping. Ieee Transactions on Information Theory, 64(6), 4674-4685.
42. Grimmer, D., Brown, E., Kempf, A., Mann, R. B., & Martin-Martinez, E. (2018a). A classification of open Gaussian dynamics. Journal of Physics a-Mathematical and Theoretical, 51(24).
43. Grimmer, D., Brown, E., Kempf, A., Mann, R. B., & Martin-Martinez, E. (2018b). Gaussian ancillary bombardment. Physical Review A, 97(5).
44. Gross, J. A., Caves, C. M., Milburn, G. J., & Combes, J. (2018). Qubit models of weak continuous measurements: markovian conditional and open-system dynamics. Quantum Science and Technology, 3(2).
45. Gumann, P., Haas, H., Sheldon, T. S., Zhu, L., Deshpande, R., Alexander, T., et al. (2018). NMR study of optically hyperpolarized phosphorus donor nuclei in silicon. Physical Review B, 98(18).
46. Hadiashar, S. B., Nayak, A., & Renner, R. (2018). Communication Complexity of One-Shot Remote State Preparation. Ieee Transactions on Information Theory, 64(7), 4709-4728.
47. Harris, S. J., Levene, R. H., Paulsen, V. I., Plosker, S., & Rahaman, M. (2018). Schur multipliers and mixed unitary maps. Journal of Mathematical Physics, 59(11).
48. Hashagen, A. K., Flammia, S. T., Gross, D., & Wallman, J. J. (2018). Real Randomized Benchmarking Quantum, 2.
49. Helsen, J., Wallman, J. J., & Wehner, S. (2018). Representations of the multi-qubit Clifford group. Journal of Mathematical Physics, 59(7).
50. Henderson, L. J., Hennigar, R. A., Mann, R. B., Smith, A. R. H., & Zhang, J. L. (2018). Harvesting entanglement from the black hole vacuum. Classical and Quantum Gravity, 35(21).
51. Houde, M., & Rajabi, F. (2018). Interacting superradiance samples: modified intensities and timescales, and frequency shifts. Journal of Physics Communications, 2(7).
52. Houde, M., Rajabi, F., Gaensler, B. M., Mathews, A., & Tranchant, V. (2019). Triggered superradiance and fast radio bursts. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 482(4), 5492-5499.
53. Huang, A. Q., Barz, S., Andersson, E., & Makarov, V. (2018). Implementation vulnerabilities in general quantum cryptography. New Journal of Physics, 20.
54. Huang, A. Q., Sun, S. H., Liu, Z. H., & Makarov, V. (2018). Quantum key distribution with distinguishable decoy states. Physical Review A, 98(1).
55. Huang, S. L., Chen, J. X., Li, Y. N., & Zeng, B. (2018). Quantum state tomography for generic pure states. Science China-Physics Mechanics & Astronomy, 61(11).

56. Jaques, S., & Rahaman, M. (2018). Spectral properties of tensor products of channels. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 465(2), 1134-1158.
57. Jeong, H. J., Du, S. W., & Kim, N. Y. (2019). Proposed narrowband biphoton generation from an ensemble of solid-state quantum emitters. Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics, 36(3), 646-651.
58. Jiang, M., Wu, T., Blanchard, J. W., Feng, G. R., Peng, X. H., & Budker, D. (2018). Experimental benchmarking of quantum control in zero-field nuclear magnetic resonance. Science Advances, 4(6).
59. Jin, J., Agne, S., Bourgoin, J. P., Zhang, Y. B., Lutkenhaus, N., & Jennewein, T. (2018). Demonstration of analyzers for multimode photonic time-bin qubits. Physical Review A, 97(4).
60. Jin, W. C., Kim, H. H., Ye, Z. P., Li, S. W., Rezaie, P., Diaz, F. B., et al. (2018). Raman fingerprint of two terahertz spin wave branches in a two-dimensional honeycomb Ising ferromagnet. Nature Communications, 9.
61. Jochym-O'Connor, T., Kubica, A., & Yoder, T. J. (2018). Disjointness of Stabilizer Codes and Limitations on Fault-Tolerant Logical Gates. Physical Review X, 8(2).
62. Jonsson, R. H., Ried, K., Martin-Martinez, E., & Kempf, A. (2018). Transmitting qubits through relativistic fields. Journal of Physics a-Mathematical and Theoretical, 51(48).
63. Joshi, S. K., Pienaar, J., Ralph, T. C., Cacciapuoti, L., McCutcheon, W., Rarity, J., et al. (2018). Space QUEST mission proposal: experimentally testing decoherence due to gravity. New Journal of Physics, 20.
64. Kenning, G. G., Tennant, D. M., Rost, C. M., da Silva, F. G., Walters, B. J., Zhai, Q., et al. (2018). End of aging as a probe of finite-size effects near the spin-glass transition temperature. Physical Review B, 98(10).
65. Kribs, D. W., Pereira, R., Levick, J., Rahaman, M., & Nelson, M. I. (2019). QUANTUM COMPLIMENTARITY AND OPERATOR STRUCTURES. Quantum Information & Computation, 19(1- 2), 67-83.
66. Kubica, A., Beverland, M. E., Brandao, F., Preskill, J., & Svore, K. M. (2018). Three-Dimensional Color Code Thresholds via Statistical-Mechanical Mapping. Physical Review Letters, 120(18).
67. Kumari, M., & Ghose, S. (2018). Quantum-classical correspondence in the vicinity of periodic orbits. Physical Review E, 97(5).
68. Kwon, S., Roudsari, A. F., Benningshof, O. W. B., Tang, Y. C., Mohebbi, H. R., Taminiau, I. A. J., et al. (2018). Magnetic field dependent microwave losses in superconducting niobium microstrip resonators. Journal of Applied Physics, 124(3).
69. Lahiri, A., Gharavi, K., Baugh, J., & Muralidharan, B. (2018). Nonequilibrium Green's function study of magnetoconductance features and oscillations in clean and disordered nanowires. Physical Review B, 98(12).
70. Lan, T., Kong, L., & Wen, X. G. (2018). Classification of (3+1)D Bosonic Topological Orders: The Case When Pointlike Excitations Are All Bosons. Physical Review X, 8(2).
71. Leditzky, F., Leung, D., & Smith, G. (2018a). Dephrasure Channel and Superadditivity of Coherent Information. Physical Review Letters, 121(16).
72. Leditzky, F., Leung, D., & Smith, G. (2018b). Quantum and Private Capacities of Low-Noise Channels. Physical Review Letters, 120(16).
73. Lefebvre, C., Gagnon, D., Fillion-Gourdeau, F., & MacLean, S. (2018). Carrier-envelope phase effects in graphene. Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics, 35(4), 958-966.
74. Leung, D., Nayak, A., Shayeghi, A., Touchette, D., Yao, P., & Nengkun Yu, N. (2018). Capacity approaching coding for low noise interactive quantum communication. Proceedings of the 50th Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing (STOC 2018), 339-352.
75. Levene, R. H., Paulsen, V. I., & Todorov, I. G. (2018). Complexity and Capacity Bounds for Quantum Channels. Ieee Transactions on Information Theory, 64(10), 6917-6928.
76. Levitin, L. V., Yager, B., Sumner, L., Cowan, B., Casey, A. J., Saunders, J., et al. (2019). Evidence for a Spatially Modulated Superfluid Phase of He-3 under Confinement. Physical Review Letters, 122(8).
77. Li, Y. N., Han, M. X., Ruan, D., & Zeng, B. (2018). Random SU(2) invariant tensors. Journal of Physics a-Mathematical and Theoretical, 51(17).
78. Li, Y. N., Huang, S. L., Ruan, D., & Zeng, B. (2019). Symmetric versus bosonic extension for bipartite states. Physical Review A, 99(1).
79. Lin, J., & Lutkenhaus, N. (2018). Simple security analysis of phase-matching measurement-device-independent quantum key distribution. Physical Review A, 98(4).
80. Lin, J. N., Buonacorsi, B., Laflamme, R., & Wallman, J. J. (2019). On the freedom in representing quantum operations. New Journal of Physics, 21.
81. Lopp, R., & Martin-Martinez, E. (2018). Light, matter, and quantum randomness generation: A relativistic quantum information perspective. Optics Communications, 423, 29-47.
82. Lopp, R., Martin-Martinez, E., & Page, D. N. (2018). Relativity and quantum optics: accelerated atoms in optical cavities. Classical and Quantum Gravity, 35(22).
83. Lu, S. R., Huang, S. L., Li, K. R., Li, J., Chen, J. X., Lu, D. W., et al. (2018). Separability-entanglement classifier via machine learning. Physical Review A, 98(1).
84. Luo, Z. H., & Zeng, B. (2018). Fast adiabatic method for measuring topological Chern number. Science China-Physics Mechanics & Astronomy, 61(5).

85. MacLean, J. P. W., Donohue, J. M., & Resch, K. J. (2018). Ultrafast quantum interferometry with energy-time entangled photons. Physical Review A, 97(6).
86. Magazzu, L., Forn-Diaz, P., Belyansky, R., Orgiazzi, J. L., Yurtalan, M. A., Otto, M. R., et al. (2018a). Probing the strongly driven spin-boson model in a superconducting quantum circuit. Nature Communications, 9.
87. Magazzu, L., Forn-Diaz, P., Belyansky, R., Orgiazzi, J. L., Yurtalan, M. A., Otto, M. R., et al. (2018b). Probing the strongly driven spin-boson model in a superconducting quantum circuit (vol 9, 1403, 2018). Nature Communications, 9.
88. Martin-Martinez, E., & Rodriguez-Lopez, P. (2018). Relativistic quantum optics: The relativistic invariance of the light-matter interaction models. Physical Review D, 97(10).
89. Marwah, A. S., & Lutkenhaus, N. (2019). Characterization of Gram matrices of multimode coherent states. Physical Review A, 99(1).
90. McConkey, T. G., Bejanin, J. H., Earnest, C. T., McRae, C. R. H., Pagel, Z., Rinehart, J. R., et al. (2018). Mitigating leakage errors due to cavity modes in a superconducting quantum computer. Quantum Science and Technology, 3(3).
91. McKay, E., Rodriguez-Briones, N. A., & Martin-Martinez, E. M. (2018). Fluctuations of work cost in optimal generation of correlations. Physical Review E, 98(3).
92. McRae, C. R. H., Bejanin, J. H., Earnest, C. T., McConkey, T. G., Rinehart, J. R., Deimert, C., et al. (2018). Thin film metrology and microwave loss characterization of indium and aluminum/indium superconducting planar resonators. Journal of Applied Physics, 123(20).
93. Miatto, F. M., Epping, M., & Lutkenhaus, N. (2018). Hamiltonians for one-way quantum repeaters. Quantum, 2.
94. Miatto, F. M., Safari, A., & Boyd, R. W. (2018). Explicit formulas for photon number discrimination with on/off detectors. Applied Optics, 57(23), 6750-6754.
95. Mirkamali, M. S., Cory, D. G., & Emerson, J. (2018). Entanglement of two noninteracting qubits via a mesoscopic system. Physical Review A, 98(4).
96. Mohebbi, H. R., Atikan, H., & Majedi, A. H. (2018). High-Temperature Superconducting Periodic Transmission Line. Ieee Transactions on Applied Superconductivity, 28(6).
97. Molina, A. (2019). POVMs are equivalent to projections for perfect state exclusion of three pure states in three dimensions. Quantum, 3.
98. Mosca, M. (2018). Cybersecurity in an Era with Quantum Computers Will We Be Ready? Ieee Security & Privacy, 16(5), 38-41.
99. Ng, K. K., Mann, R. B., & Martin-Martinez, E. (2018a). New techniques for entanglement harvesting in flat and curved spacetimes. Physical Review D, 97(12).
100. Ng, K. K., Mann, R. B., & Martin-Martinez, E. (2018b). Unruh-DeWitt detectors and entanglement: The anti-de Sitter space. Physical Review D, 98(12).
101. Novodchuk, I., Irannejad, M., Wales, B., Ibrahim, K., Sanderson, J., Bajcsy, M., et al. (2019). Controlled volume production of simultaneously B/N co-doped reduced graphene oxide nanoflakes using femtosecond laser ablation. Materials Research Bulletin, 111, 80-86.
102. Pan, H. N., Winkler, K., Powlowski, M., Xie, M., Schade, A., Emmerling, M., et al. (2019). Two-kind boson mixture honeycomb Hamiltonian of Bloch exciton-polaritons. Physical Review B, 99(4).
103. Paulsen, V. I., & Woerdeman, H. J. (2018). REVERSE CHOLESKY FACTORIZATION AND TENSOR PRODUCTS OF NEST ALGEBRAS. Proceedings of the American Mathematical Society, 146(4), 1693-1698.
104. Pinheiro, P. V. P., Chaiwongkhot, P., Sajeed, S., Horn, R. T., Bourgoin, J. P., Jennewein, T., et al. (2018). Eavesdropping and countermeasures for backflash side channel in quantum cryptography. Optics Express, 26(16), 21020-21032.
105. Polshyn, H., Naibert, T. R., & Budakian, R. (2018). Imaging phase slip dynamics in micron-size superconducting rings. Physical Review B, 97(18).
106. Powlowski, M., Sfigakis, F., & Kim, N. Y. (2019). Temperature dependent angular dispersions of surface acoustic waves on GaAs. Japanese Journal of Applied Physics, 58(3).
107. Qin, H., Kumar, R., Makarov, V., & Alleaume, R. (2018). Homodyne-detector-blinding attack in continuous-variable quantum key distribution. Physical Review A, 98(1).
108. Rahaman, M., Jaques, S., & Paulsen, V. I. (2018). Eventually entanglement breaking maps. Journal of Mathematical Physics, 59(6).
109. Richmond, E., & Slofstra, W. (2018). Smooth Schubert varieties in the affine flag variety of type (A)over-tilde. European Journal of Combinatorics, 71, 125-138.
110. Rodriguez-Lopez, P., & Martin-Martinez, E. (2018). Casimir forces and quantum friction of finite-size atoms in relativistic trajectories. Physical Review A, 98(3).
111. Sarenac, D., Cory, D. G., Nsofini, J., Hincks, I., Miguel, P., Arif, M., et al. (2018). Generation of a Lattice of Spin-Orbit Beams via Coherent Averaging. Physical Review Letters, 121(18).

112. Sarenac, D., Nsofini, J., Hincks, I., Arif, M., Clark, C. W., Cory, D. G., et al. (2018). Methodsfor preparation and detection of neutron spin-orbit states. New Journal of Physics, 20.
113. Simidzija, P., Jonsson, R. H., & Martin-Martinez, E. (2018). General no-go theorem for entanglement extraction. Physical Review D, 97(12).
114. Simidzija, P., & Martin-Martinez, E. (2018). Harvesting correlations from thermal andsqueezed coherent states. Physical Review D, 98(8).
115. Slofstra, W. (2019). THE SET OF QUANTUM CORRELATIONS IS NOT CLOSED. Forum of Mathematics Pi, 7.
116. Slofstra, W., & Vidick, T. (2018). Entanglement in Non-local Games and the Hyperlinear Profile of Groups. Annales Henri Poincare, 19(10), 2979-3005.
117. Song, Q., Zhang, K. Y., Dong, Y., & Zhang, W.P. (2018). Quantum non-demolition phonon counter with a hybrid optomechnical system. Science China-Physics Mechanics & Astronomy, 61(5).
118. Song, Y. Q., Tang, Y. Q., Hurrlimann, M. D., & Cory, D. G. (2018). Real-time optimization of nuclear magnetic resonance experiments. Journal of Magnetic Resonance, 289, 72-78.
119. Su, Y., & Watrous, J. (2018). Time-reversal of rank-one quantum strategy functions. Quantum, 2.
120. Tang, X. W., Xu, J., & Duan, B. J. (2018). A Memory-efficient Simulation Method of Grover's Search Algorithm. Cmc-Computers Materials & Continua, 57(2), 307-319.
121. Tjoa, E., Mann, R. B., & Martin-Martinez, E. (2018). Particle detectors, cavities, and theweak equivalence principle. Physical Review D, 98(8).
122. Tjoa, E., & Martin-Martinez, E. (2019). Zero mode suppression of superluminal signals in light-matter interactions. Physical Review D, 99(6).
123. Touchette, D., Lovitz, B., & Lutkenhaus, N. (2018). Practical quantum appointment scheduling. Physical Review A, 97(4).
124. Tysowski, P. K., Ling, X. H., Lutkenhaus, N., & Mosca, M. (2018). The engineering of a scalable multi- site communications system utilizing quantum key distribution (QKD). Quantum Science and Technology, 3(2).
125. Wang, C. L., Zhang, S. H., Qiao, S. Z., Du, H. L., Liu, X. M., Sun, R. C., et al. (2018). Dual-mode ferromagnetic resonance in an FeCoB/Ru/FeCoB synthetic antiferromagnet with uniaxial anisotropy. Applied Physics Letters, 112(19).
126. Wang, Y. H., Li, Y., Yin, Z. Q., & Zeng, B. (2018). 16-qubit IBM universal quantum computer can be fully entangled. Npj Quantum Information, 4.
127. Willick, K., Park, D. K., & Baugh, J. (2018). Efficient continuous-wave noise spectroscopybeyond weak coupling. Physical Review A, 98(1).
128. Winick, A., Lutkenhaus, N., & Coles, P. J. (2018). Reliable numerical key rates for quantumkey distribution. Quantum, 2.
129. Wolin, B., Wang, X., Naibert, T., Gleason, S. L., MacDougall, G. J., Zhou, H. D., et al. (2018). Real- space magnetic imaging of the multiferroic spinels MnV2O4 and Mn3O4. Physical Review Materials, 2(6).
130. Yan, G. A., Lu, H., Qiao, H. X., Chen, A. X., & Wu, W. Q. (2018). Coupled-resonator waveguide perfect transport single-photon by interatomic dipole-dipole interaction. Optics Communications, 416, 50-53.
131. Yoon, T., & Bajcsy, M. (2019). Laser-cooled cesium atoms confined with a magic-wavelength dipole trap inside a hollow-core photonic-bandgap fiber. Physical Review A, 99(2).
132. Zhang, H., Ma, X. D., Li, L., Langenberg, D., Zeng, C. G., & Miao, G. X. (2018). Two-step growth of high-quality Nb/(Bi0.5Sb0.5)(2)Te-3/N heterostructures for topological Josephson junctions. Journalof Materials Research, 33(16), 2423-2433.
133. Zhang, J. S., Li, M. C., & Chen, A. X. (2019). Enhancing quadratic optomechanical coupling via a nonlinear medium and lasers. Physical Review A, 99(1).
134. Zhang, J. S., Zhang, L. J., Chen, A. X., & Abdel-Aty, M. (2018). Analytical solution and applications of three qubits in three coupled modes without rotating wave approximation. Quantum Information Processing, 17(6).
135. Zhong, S. Z., Tiwari, A., Nichols, G., Chen, F. C., Luo, X., Sun, Y. P., et al. (2018). Origin of magnetoresistance suppression in thin gamma-MoTe2. Physical Review B, 97(24).
136. Zhuang, Q. T., Zhang, Z. S., Lutkenhaus, N., & Shapiro, J. H. (2018). Security-proof framework for two- way Gaussian quantum-key-distribution protocols. Physical Review A, 98(3).

C. Professeurs et professeurs-chercheurs adjoints

Professeurs

Michael Bajcsy
Jonathan Baugh
Raffi Budakian
Kyung Soo Choi
David Cory
Richard Cleve
David Gosset
Joseph Emerson
K. Rajibul Islam
Thomas Jennewein
Na Young Kim
Raymond Laflamme
Debbie Leung
Adrian Lupascu
Norbert Lütkenhaus
Matteo Mariantoni
Gui-Xing Miao
Michele Mosca
Christine Muschik
Ashwin Nayak
Vern Paulsen
Dmitry Pushin
Michael Reimer
Kevin Resch
Crystal Senko
William Slofstra
Adam Wei Tsen
John Watrous<
Christopher Wilson
Jon Yard

Professeurs-chercheurs adjoints

François Sfigakis
Joel Wallman

D. Collaborations

Réseaux de recherche en collaboration

Thomas Jennewein	Excelitas (auparavant Perkin Elmer), Canada Agence spatiale canadienne, Montréal, Canada Institut national d'optique (INO), Canada DotFAST, Allemagne Princeton Lightwave, États-Unis Xiphos, Montréal, Canada Neptec, Ottawa, Canada
Norbert Lütkenhaus	Université de Vigo, Espagne Université de technologie de Darmstadt, Allemagne Université Pierre-et-Marie-Curie, France
Adrian Lupascu	IARPA et Université de la Californie du Sud Milena Grifoni, Institut de physique théorique, Université de Ratisbonne, Allemagne Juan Jose Garcia Ripoll, Institut de physique fondamentale, Madrid, Espagne Fonds national de recherche du Qatar Jonathan Friedman, Université Amherst College, Massachusetts, États-Unis
Michele Mosca	Programme FONCER du CRSNG, Canada Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), France Institut de science et technologie quantiques (IQST), Université de Calgary, Canada Université de Montréal, Canada Tech Capital Partners, Canada Université McGill, Canada ComDev, Canada Institut Périmètre de physique théorique, Canada Institut national des normes et de la technologie (NIST), États-Unis Institut fédéral suisse de technologie de Zurich (ETHZ), Suisse ID Quantique, Suisse Institut de la sécurité, de la confidentialité et de l'assurance de l'information, Canada Centre de technologies quantiques (CQT), Université nationale de Singapour Security Innovations, États-Unis Institut Tutte pour les mathématiques et le calcul, Canada Centres d'excellence de l'Ontario, Canada MITACS, Canada Trustpoint, Canada SERENE, Canada Approach Infinity inc., Canada Université d'Ottawa, Canada Gouvernement du Canada InfoSec Global, Canada SignitSure inc., Canada
William Slofstra	Université Brown, États-Unis

Crystal Senko	Laboratoires nationaux Sandia
Christine Muschik	Karl Jansen, DESY Peter Zoller et Rainer Blatt, Université d'Innsbruck CDQI, Laboratoire de recherche de l'armée américaine QTFLAG
Michal Bajcsy	Martin Houde, Université Western, Ontario Fetah Benabid, Institut de recherche XLIM, Limoges, France Philippe Tassin, École polytechnique Chalmers, Suède
Guo-Xing Miao	Ambature inc., Scottsdale, Arizona
Chris Wilson	Professeur Enrique Solano, Université du Pays basque, Bilbao, Espagne Professeur Ozgur Mustecaplioglu, Université Koç, Istanbul, Turquie Professeure Ivette Fuentes, Université d'Autriche Jose Aumentado, Ph.D., Institut national des normes et de la technologie (NIST), Boulder, États-Unis

E. Postdoctorants

Postdoctorants actuels à l'IQC

Aaron Hutchinson
Aleksander Kubica
Anurag Anshu
Arjun Shetty
Behrooz Semnani
Ben Yager
Brendon Higgins
Chang Liu
Daniel Tennent
Dave Touchette
Divya Bharadwaj
Dmitry Akhmetzyanov
DongSheng Wang
Fereshteh Rajabi
Ferhat Aydinogluy
Franklin Cho
George Nichols
Geovandro Pereira
Hilary Carteret
Hyun Ho Kim
Ibrahim Nsanzineza
Jan Haase
Javad Doliskani
Jean-Philippe Bourgoin
Jinglei Zhang
Jinjin Du
Joachim Nsofini
John Peterson Pinheiro da Silva
Karthikeyan Sampath Kumar
Lin Tian
Long Cheng
Luca Dellantonio
Mahmood Sabooni
Mark Girard
Matthew Coudron
Matthew Day
Michele Piscitelli
Mohamad Niknam
Mona Mirzaeimoghri
Pan Zheng
Pardis Sahafi
Paulina Corona Ugalde
Pavithran Iyer
Peng Li
Peter Tysowski
Pooya Ronagh
Priyanka Mukhopadhyay
Roland Habluetzel
Sacha Schwarz
Salil Bedkihal
Sandra Gibson
Sangil Kwon
Sara Hosseini
Taehyun Yoon
Tian Lan
Travis Morrison
Vlad Gheorghiu
Wenfeng Li
Yasar Atas
Ying Dong
Yongchao Tang

F. Étudiants diplômés

Voici les étudiants diplômés qui faisaient partie de la communauté de l'IQC au 31 mars 2019.

Doctorants

Eugene Adjei
Arash Ahmadi
Rubayet Al Maruf
Matthew Amy
Vadiraj Ananthapadmanabha Rao
Paul Anderson
Shima Bab Hadiashar
Eduardo Barrera Ramirez
Stefanie Beale
Jeremy Bejanin
Marian Berek
Brandon Buonacorsi
Jamal Busnaina
Ningping Cao
Arnaud Carignan-Dugas
Poompong Chaiwongkhot
Xi Dai
Padraig Daly
Jack Davis
Jose de Ramon Rivera
Rahul Deshpande
Olivia Di Matteo
Carolyn Earnest
Jennifer Katherine Fernick
Jeremy Flannery
Thomas Fraser
Nicolas Funai
Kaveh Gharavi
Noah Greenberg
Daniel Grimmer
Holger Haas
Laura Henderson
Dmitri Iouchtchenko
Rabiul Islam
Aditya Jain
Chi Hang (Angus) Kan
Shitikanth Kashyap
Hemant Katiyar
Maria Kieferova
Meenu Kumari
Jason LeGrow
Lin Li
Kai Hong (Nicky) Li
Madelaine Liddy
Piers Lillystone
Jie Lin
Junan Lin
Sheng-Xiang Lin
Li Liu
Benjamin Lovitz
Jean-Philippe MacLean
Antonio Martinez
Caroline Mbakob-Tchouawou
Arthur Mehta
Maryam Mirkamali
Abel Molina
Sainath Motlakunta
Mike Nelson
Mohamad Niknam
Jean-Luc Orgiazzi
Satish Pandey
Tarun Patel
Kevin Piche
Jitendra Prakash
Jason Pye
Hammam Qassim
Nayeli Rodriguez Briones
Allison Sachs
Chung Wai Sandbo Chang
John Schanck
David Schmid
Youn Seok Lee
Ala Shayeghi
Nadine Stritzelberger
Nigar Sultana
Huichen Sun
Ramy Tannous
Theerapat Tansuwannont
Burak Tekcan
Archana Tiwari

Guillaume Verdon-Akzam
Sebastian Verschoor
Cameron Vickers
Dhinakaran Vinayagamurthy
Sean Walker
Chunhao Wang
Kyle Willick
Muhammet Yurtalan
Mohd Zeeshan

Étudiants à la maîtrise

Shahab Akmal
Matthew Alexander
Thomas Alexander
Julia Amoros (Binefa)
Emma (Annelise) Bergeron
Kristine Boone
Brendan Bramman
Andrew Cameron
Jiahui Chen
Michael Chen
Yutong Dai
Patrick Daley
Simon (Stephanie) Daley
Tina Dekker
Andy (Zhenghao) Ding
Brian Duong
Marcus Edwards
Ryan Ferguson
Ian George
Soumik Ghosh
Adina Goldberg
Lane Gunderman
Melissa Henderson
Nairong Hou
Shih-Chun (Jimmy) Hung
Jaron Huq
Samuel Jaques
Andrew Jena
David Jepson
Andrew Jordan
Connor Kapahi
Jeremy Kelly-Massicotte
Michael (Mike) Kobierski
Michal Kononenko
Nikhil Kotibhaskar
Dariusz Lasecki
Youn Seok Lee
Xudong (Michael) Liu
Guofei (Phillip) Long
Richard Lopp
Pei Jiang Low
Mary Katherine MacPherson
Shayan Majidy
AJ Malcolm
Nicolas Manor
Maria Maristany
Ashutosh Marwah
Morgan Mastrovich
Emma McKay
Denis Melanson
Irene Melgarejo
Kimia Mohammadi
Hamoon Mousavi
Olivier Nahman-Levesque
Maria Papageorgiou
Connor Paul-Paddock
Danny Paulson
Evan Peters
Clifford Plesha
Richard Rademacher
Vinodh Raj Rajagopal Muthu
He (Ricky) Ren
Theodore Rogozinski
Joshua Ruebeck
Romain Ruhlmann
Manas Sajjan
Supratik Sarkar
Nachiket Sherlekar
Jiahao Shi
Yu (Jerry) Shi
Gilbert (Chung-You) Shih
Petar Simidzija
Joshua Skanes-Norman
Sebastian Slaman

Andrew Stasiuk
(Seyed) Sahand Tabatabaei
Erickson Tjoa
Brad van Kasteren
Sam Winnick
Austin Woolverton
Ruoxuan Xu
Bowen Yang
HeeBong Yang
Shazhou (Joey) Zhong

G. Invitations comme conférencier et participations à des conférences

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
Jonathan Baugh	Boîtes quantiques MOS en silicium pour des qubits de spin	Symposium conjoint Technion-Waterloo, Haïfa, Israël, novembre 2018
	Difficultés et possibilités du calcul quantique fondé sur le silicium	Séminaire de physique, Université de Buffalo, États-Unis, novembre 2018
	Correction d'erreurs quantiques : des principes à la pratique	Enseignement donné à la Conférence S3S de microélectronique, San Francisco, États-Unis, octobre 2018
	Difficultés et possibilités du calcul quantique fondé sur les spins dans du silicium	Séminaire au Département des matériaux, Oxford, Royaume-Uni, octobre 2018
	Difficultés et possibilités du calcul quantique fondé sur les spins dans du silicium	Séminaire de génie physique, Université McMaster, Hamilton (Ontario), Canada, septembre 2018
	Architecture de réseau pour un ordinateur quantique topologique dans du silicium	Atelier Spin Canada, Calgary (Alberta), Canada, juillet 2018
	Transport quantique dans des nanofils : régimes normal et supraconducteur	Semaine des nanofils, Hamilton (Ontario), Canada, juin 2018
	Architecture de réseau pour un ordinateur quantique au silicium	ETCMOS, Whistler (Colombie-Britannique), Canada, mai 2018
	Difficultés d'extension des processeurs quantiques fondés sur le silicium	Symposium sur les tests d'intégration à très grande échelle, San Francisco, États-Unis, avril 2018
Kazi Rajibul Islam	Ingénierie dynamique de graphes d'interaction spin-spin dans un simulateur quantique à ions piégés	Université de Strathclyde, Glasgow, Royaume-Uni, le 12 novembre 2018
	Ingénierie dynamique de graphes d'interaction spin-spin dans un simulateur quantique à ions piégés	Institut Kavli de physique théorique, Université de la Californie à Santa Barbara, États-Unis, le 22 août 2018
	Simulation du monde quantique à l'aide d'ions piégés	Colloque du Collège Presidency, Université de Calcutta, Inde, le 30 juillet 2018
	Simulation de systèmes de spins frustrés programmables dans un simulateur quantique à ions piégés	Université Washington, Saint-Louis (Missouri), États-Unis, le 9 avril 2018
	Simulation quantique à l'aide d'ions piégés	Université McMaster, Hamilton (Ontario), Canada
	Atelier sur les états et la dynamique de systèmes à N corps	Institut Périmètre et Institut d'informatique quantique, Waterloo (Ontario), Canada
Thomas Jennewein	Expériences fondamentales d'intrication à l'aide de satellites de communications quantiques	Atelier de la NASA sur la physique fondamentale, San Diego, États-Unis, du 9 au 11 avril 2018
	Satellites de communications quantiques	Nouvelles technologies spatiales, OCDE, Paris, France, le 27 avril 2018
	Expériences fondamentales à l'aide de satellites de communications quantiques	Conférence *Frontières et fondements quantiques 2018*, financée par la Fondation Templeton, Bangalore, Inde, du 30 avril au 4 mai 2018
	Calcul quantique pour les communications par satellite : une révolution pour les communications cryptées	Conférence 2018 de l'UNIDIR (Institut des Nations unies pour la recherche sur le désarmement) sur la sécurité spatiale, Genève, Suisse, les 7 et 8 mai 2018.
	Préparatifs de la mission du satellite canadien de communications quantiques	Réunion thématique d'été de la Société de photonique, Hawaï, États-Unis, du 9 au 13 juillet 2018

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
	Entreprises de technologie quantique en démarrage	Atelier albertain sur la physique quantique, Calgary, Canada, le 18 juillet 2018
	Intrication quantique photonique pour des technologies et leurs applications : vers un réseau Internet quantique	Conférences Exner, Vienne, Autriche, le 23 octobre 2018
	Distribution quantique de clés en espace libre avec des camions, des aéronefs et des satellites	Institut d'optique et d'information quantiques, Vienne, Autriche, le 24 octobre 2018
Debbie Leung	Un jeu non local auquel on ne peut pas jouer de manière optimale avec un nombre fini d'intrications	Session spéciale sur les perspectives mathématiques en théorie de l'information quantique, réunion de printemps du chapitre de l'Est, Société américaine de mathématiques (AMS), Université Northeastern, Boston, États-Unis, les 21 et 22 avril 2018
	Un jeu non local, fondé sur le détournement, auquel on ne peut pas jouer de manière optimale avec un nombre fini d'intrications	15e conférence internationale sur la physique et la logique quantiques (QPL 2018), Université Dalhousie, Halifax (Nouvelle-Écosse), Canada, du 3 au 7 juin 2018
	Matrices unitaires aléatoires et pseudo-aléatoires	De la physique aux applications des ordinateurs quantiques, Centre de physique d'Aspen, États-Unis, du 27 mai au 17 juin 2018
	Un jeu non local, fondé sur le détournement, auquel on ne peut pas jouer de manière optimale avec un nombre fini d'intrications	Sommet des Rocheuses sur l'information quantique, JILA, Université du Colorado à Boulder, États-Unis, du 25 au 29 juin 2018
	Une inégalité de Bell qui ne peut pas être violée de manière maximale avec un nombre fini d'intrications	Réunions conjointes de mathématiques 2019, session spéciale de l'AMS sur les progrès des marches quantiques, des simulations quantiques et éléments connexes de physique quantique, Baltimore, États-Unis, du 16 au 19 janvier 2019
	Rendre extensible le traitement de l'information quantique	Symposium sur le pourquoi et le comment de la construction d'ordinateurs quantiques, réunion annuelle 2019 de l'AAAS (Association américaine pour l'avancement de la science), Washington (District de Columbia), États-Unis, du 14 au 17 février 2019
Norbert Lütkenhaus	Communications quantiques optiques et avantages quantitatifs	Zeiss International, Oberkochen, Allemagne, le 18 avril 2018
	L'informatique quantique : un nouveau paradigme en matière de sécurité	CyCon 2018, Tallinn, Estonie, le 1er juin 2018
	Communications quantiques avec des états cohérents	Congrès de l'ACP, Halifax (Nouvelle-Écosse), Canada, le 14 juin 2018
	Réseaux quantiques	Atelier sur le réseau Internet quantique, Toronto (Ontario), Canada, le 22 juin 2018
	Applications de réseau cryptographiques et non cryptographiques, et leur mise en œuvre optique	Réseaux quantiques — Réunion thématique d'été 2018 de la Société de photonique de l'IEEE, Waikaloa, Hawaï, États-Unis, le 10 juillet 2018
	Théorie des communications quantiques optiques — Réaliser l'avantage quantique en DQC et au-delà	Conférence IQC-Chine, Waterloo (Ontario), Canada, le 1er octobre 2018
	Communications quantiques avec des états cohérents de la lumière	Séminaire d'automne 2018 du CQuIC, Albuquerque (Nouveau-Mexique), États-Unis, le 13 décembre 2018
Adrian Lupascu	Couplage ultrafort d'un atome artificiel individuel et d'un champ électromagnétique	Atelier international sur l'informatique quantique à l'état solide, Hangzhou, Chine
	Couplage ultrafort d'un atome artificiel individuel et d'un champ électromagnétique	Université de la Sarre à Sarrebruck, Allemagne

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
	Introduction aux qubits supraconducteurs	Université de Waterloo (Ontario), Canada
Michele Mosca	Que devrais-je vraiment faire aujourd'hui à propos de l'informatique quantique?	Conférence RSA 2018, San Francisco (Californie), États-Unis, le 18 avril 2018
	Calcul, discrétion différentielle et menaces à la cybersécurité	Conférence *Think* d'Orion, Toronto (Ontario), Canada, le 2 mai 2018
	Le point sur la physique quantique	Conférence internationale du module de cryptographie (ICMC), Canada, le 9 mai 2018
	Technologies de sécurité perturbatrices de séance et portrait des cybermenaces	Rightscon, Toronto (Ontario), Canada, le 17 mai 2018
	Cryptographie postquantique	Cours (2e sur 4) pratique en ligne d'informatique quantique du MIT, dans le cadre du programme de certificat professionnel sur les applications de l'informatique quantique, le 24 mai 2018
	Perfectionnement professionnel	Forum sur la cybersécurité, Cambridge (Ontario), Canada, le 28 mai 2018
	Comment rendre Internet plus sûr sans en détruire la vitalité?	Conférence Ditchley, Oxfordshire, Royaume-Uni, le 8 juin 2018
	État de préparation et effets de l'informatique quantique sur la cybersécurité et les chaînes de blocs	Conférence annuelle d'été de l'ISACA, Toronto (Ontario), Canada, le 24 juin 2018
	Se protéger contre les menaces quantiques tout en adoptant la technologie quantique	Festival Webit Europe 2018, Sofia, Bulgarie, le 27 juin 2018
	Se préparer à l'ère quantique	Activité affiliée à Crypto2018 : cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques pour l'industrie (QsCI), Santa Barbara (Californie), États-Unis, le 18 août 2018
	Aperçu des progrès en informatique et cryptographie quantiques	Atelier sur les communications à l'épreuve des attaques quantiques, Singapour, le 17 juillet 2018
	Le besoin irrévocable de crypto-agilité	Webinaire international de l'Association pour la sécurité des systèmes d'information (ISSA) sur le leadership éclairé — https://www.issa.org/events/EventDetails.aspx?id=1130964&group=, le 8 août 2018
	Prospérer à l'ère de l'informatique quantique	Session iLEAD à la Banque Scotia, Toronto (Ontario), Canada, le 13 septembre 2018
	Symposium sur les attaques quantiques contre les chaînes de blocs : Le monde peut-il fonctionner avec des chaînes de blocs? Le bon, la brute et le truand	Université de technologie de Darmstadt à Hessen, Allemagne, le 21 septembre 2018
	Prospérer à l'ère de l'informatique quantique	Symposium de cryptographie appliquée d'Utimaco dans la *Silicon Valley*, San Francisco (Californie), États-Unis, le 13 novembre 2018
	Le contexte de la sécurité quantique	10e école d'hiver d'ID Quantique sur la cybersécurité quantique, Genève, Suisse, le 20 janvier 2019
	L'informatique quantique va créer des emplois, mais lesquels?	20e conférence annuelle sur la protection des renseignements personnels et la sécurité, Victoria (Colombie-Britannique), Canada, le 8 février 2019
	Systèmes commerciaux de DQC et de cryptage	Forum d'OIDA pour dirigeants, San Francisco (Californie), États-Unis, le 4 mars 2019
	L'informatique quantique et la préparation des cybersystèmes pour l'ère postquantique	Conférence RSA 2019, San Francisco (Californie), États-Unis, le 6 mars 2019

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
	Pourquoi un accord sur les clés quantiques?, dans le cadre de *Marchés du matériel de DQC*	Inside Quantum Technology, le 20 mars 2019
Matteo Mariantoni	Le câblage et la cohérence : 2 éléments pas si simples de qubits supraconducteurs	Université du Zhejiang (laboratoire de Jun Yin), Hangzhou, Chine
	Le câblage et la cohérence : 2 éléments pas si simples de qubits supraconducteurs	Université du Zhejiang (laboratoire de Jie Wang), Hangzhou, Chine
	Le câblage et la cohérence : 2 éléments pas si simples de qubits supraconducteurs	Alibaba inc., Académie DAMO, Hangzhou, Chine
	Le connecteur quantique : une méthode de câblage pour l'informatique quantique à l'aide de supraconducteurs; matériaux et procédés pour l'informatique quantique	Société américaine du vide (AVS), Long Beach (Californie), États-Unis
	Ingénierie des systèmes d'informatique quantique à l'aide de supraconducteurs	Institut national des normes et de la technologie (NIST), Boulder (Colorado), États-Unis
	Ingénierie des systèmes d'informatique quantique à l'aide de supraconducteurs	Institut Peter-Grünberg, Juliers, Allemagne
	Ingénierie des systèmes d'informatique quantique à l'aide de supraconducteurs	Institut de technologie du Massachusetts, Boston, États-Unis
	Ingénierie des systèmes d'informatique quantique à l'aide de supraconducteurs	Université de Géorgie, Athens, États-Unis
	Ingénierie des systèmes d'informatique quantique à l'aide de supraconducteurs	Institut national des normes et de la technologie (NIST), Boulder (Colorado), États-Unis
Guo-Xing Miao	Rendre des ions Li fonctionnels pour le stockage de données et d'énergie	Université des sciences et technologies du Zhejiang, Hangzhou, Chine
	Rendre des ions Li fonctionnels pour le stockage de données et d'énergie	Université méridionale de science et technologie de Shenzhen, Chine
	Conférence IQC-Chine sur l'information quantique	Institut d'informatique quantique, Waterloo (Ontario), Canada
	Spectroscopie de conductance de jonctions de Josephson topologiques verticales Nb/(Bi0.5Sb0.5)2Te3/ Nb	Conférence *Spintronics XI* de SPIE, San Diego, États-Unis
Christopher Wilson	Production et distribution d'états non classiques de micro-ondes	Institut Walter-Meisner, Munich, Allemagne
	Radar quantique à micro-ondes	Laboratoire de recherches navales, Washington (District de Columbia), États-Unis
	Lumière non classique de circuits quantiques supraconducteurs	Électrodynamique quantique en guide d'onde, Sicile, Italie
	Production et distribution d'états non classiques de micro-ondes	Université de Ratisbonne, Allemagne
	Conférence *Quantum Innovators* (Innovateurs dans le domaine quantique)	Institut d'informatique quantique, Waterloo (Ontario), Canada

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
Na Young Kim	Laboratoire d'innovation quantique	Université McGill, Montréal (Québec), Canada, le 3 avril 2018
	Intégrales de saut de polaritons excitoniques de Bloch	ICRA, Québec (Québec), Canada, le 6 avril 2018
	Intégrales de saut de polaritons excitoniques de Bloch	Université des sciences et technologies de Hong Kong, Chine, le 4 mai 2018
	Simulateur quantique à l'état solide : hypothèses sur les applications biologiques et médicales	Hong Kong, Chine, le 16 mai 2018
	Simulateurs quantiques de polaritons excitoniques	Collège impérial de Londres, Royaume-Uni, le 18 juillet 2018
	Laboratoire d'innovation quantique	Conférence Canada-Japon sur l'informatique quantique, le 13 juillet 2018
	Intégrales de saut de polaritons excitoniques de Bloch dans des treillis	Conférence États-Unis–Corée 2018, Queens (New York), États-Unis, le 3 août 2018
	Les rôles du milieu universitaire dans le passé, le présent et l'avenir de la physique quantique	Sommet de l'IA, San Francisco (Californie), États-Unis, le 19 septembre 2018
	Laboratoire d'innovation quantique	Technion – Institut de technologie d'Israël, Haïfa, Israël, le 19 novembre 2018
	Laboratoire d'innovation quantique	Institut supérieur coréen de science et de technologie, Daejeon, Corée du Sud, le 17 décembre 2018
Kevin Resch	Mesure ultrarapide d'états intriqués en énergie-temps	Société américaine d'optique – Conférence 2018 sur l'utilisation de lasers dans des capteurs et pour les communications en espace libre, Orlando, États-Unis
	Lasers et électro-optique	Société américaine d'optique, San Jose (Californie), États-Unis, le 13 mai 2018
Christine Muschik	Correction dissipative d'erreurs quantiques et application à la détection quantique avec des ions piégés	Société américaine de physique, Boston (Massachusetts), États-Unis, le 4 mars 2019
	Simulation quantique de problèmes de physique des hautes énergies	Instituts Solvay, Bruxelles, Belgique, le 18 février 2019
	Comment simuler la physique des hautes énergies dans un ordinateur quantique	Colloque d'hiver sur la physique de l'électronique quantique, Salt Lake City (Utah), États-Unis, le 6 janvier 2019
	Simulation quantique de théories de jauge en treillis	Université d'État de New York à Stony Brook, États-Unis, le 10 septembre 2018
	Simulation de modèles de physique des hautes énergies dans des expériences de physique atomique	Institut Max-Planck, Erlangen, Allemagne, le 16 juillet 2018
	Simulation quantique de théories de jauge en treillis	TRIUMF, Vancouver (Colombie-Britannique), Canada, le 27 juin 2018
	Simulation de modèles de physique des hautes énergies dans des expériences de physique atomique	Congrès de l'ACP, Halifax (Nouvelle-Écosse), Canada, le 11 juin 2018
	Dynamique en temps réel de théories de jauge en treillis avec un ordinateur quantique de quelques qubits	Institut Galilée de physique théorique, Florence, Italie, le 4 juin 2018
	Simulation quantique de modèles de physique des hautes énergies	ICRA, Québec (Québec), Canada, avril 2018
	Répéteurs quantiques bidimensionnels	CDQI, Laboratoire de recherche de l'armée, Boston (Massachusetts), États-Unis, le 23 avril 2018

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
Michal Bajcsy	Stockage et interactions de photons dans des ensembles atomiques froids à l'intérieur de fibres à cœur creux	Conférence *Photonics West* de SPIE, San Francisco (Californie), États-Unis
	Cristaux photoniques pour l'optique quantique dans des ensembles atomiques (et autres travaux connexes)	Université de Strathclyde, Glasgow, Royaume-Uni
	Structures d'optique quantique avec des atomes dans des fibres à cœur creux	XLIM, Limoges, France
	Interactions entre atomes et photons régies par des cristaux photoniques	Université Stanford, Californie, États-Unis
	Conférence *Quantum Innovators* (Innovateurs dans le domaine quantique)	Institut d'informatique quantique, Waterloo (Ontario), Canada
Vern Paulsen	Probabilité libre et applications	Atelier Shanks, Université Vanderbilt, Nashville (Tennessee), septembre 2018
	Problème d'incrustation et théorie de l'information quantique	École d'hiver sur Connes, Université d'Oslo, Norvège, janvier 2019
Dmitry Pushin	Interféromètre à effet moiré à 3 réseaux de phase	Physique des particules dans des sources de neutrons, Grenoble, France, mai 2018
	Ondes neutroniques structurées venant de neutrons incohérents	Conférence américaine sur la diffusion de neutrons, Université du Maryland à College Park, États-Unis, juin 2018
	Ondes structurées : de la matière à la lumière	Conférence sur l'utilisation de lasers pour la détection et pour les communications en espace libre, Orlando, États-Unis, juin 2018
	Le neutron quantique	Conférence IQC-Chine, Waterloo (Ontario), Canada, octobre 2018
	Ondes neutroniques structurées	Conférence *Photonics West OPTO* de SPIE, San Francisco (Californie), États-Unis, février 2019
Crystal Senko	Séminaire d'avril 2018	Université de l'Illinois, États-Unis
	Séminaire de novembre 2018	Institut Périmètre, Waterloo (Ontario), Canada
	Exposé lors de l'atelier IQC-Université de Strathclyde	Institut d'informatique quantique, Waterloo (Ontario), Canada
David Cory	Physique neutronique avec information quantique	Conférence américaine sur la diffusion de neutrons, Université du Maryland à College Park, États-Unis, le 24 juin 2018
	Aperçu des technologies quantiques transformatrices	Conférence canadienne de physique quantique pour étudiants diplômés, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Canada, le 22 juin 2018
	Détection quantique	Atelier sur l'avenir de l'exploitation minière, le 11 juillet 2018
	Possibilités quantiques	BMO Groupe financier, août 2018
	Petits dispositifs quantiques à fort impact	Possibilités quantiques, octobre 2018
	Analyse bayésienne	Institut canadien de recherches avancées (ICRA), le 14 octobre 2018
	Spin central	Institut canadien de recherches avancées (ICRA), le 15 octobre 2018
	Dispositifs quantiques	QuSoft, le 6 décembre 2018
	Cycle d'innovation pour la technologie quantique	Colloque du NIST, Gaithersburg (Maryland), États-Unis, le 14 décembre 2018
Adam Wei Tsen	Matériaux 2D pour des dispositifs et la détection quantiques	Atelier du WBRIN, Hong Kong, Chine, le 16 mai 2018
	Naissance de l'électronique de spin de Van der Waals	Atelier du WIN et du CENIDE, Université de Waterloo (Ontario), Canada, le 18 juin 2018
	Naissance de l'électronique de spin de Van der Waals	Atelier albertain de physique quantique, Calgary (Alberta), Canada, le 18 juillet 2018

Professeur	Titre ou sujet	Institution ou conférence
	Nouvelles transitions d'état dans des matériaux quantiques d'épaisseur atomique	Séminaire sur la matière condensée, Département de physique, Université du Minnesota, États-Unis, le 31 octobre 2018
	Nouvelles transitions d'état dans des matériaux quantiques d'épaisseur atomique	Colloque du Département de physique, Université d'Ottawa (Ontario), Canada, le 6 décembre 2018

H. Séminaires et colloques

Colloques	
Pile ou face quantique faible	Jérémie Roland
Steampunk quantique : rencontre de l'information quantique et de la thermodynamique	Nicole Yunger Halpern
Étude à l'échelle atomique de systèmes personnalisés de matériaux à faible nombre de dimensions	Adina Luican-Mayer
Ultrasons et couplage lumière-matière coopératif	Junichiro Kono
Combat au royaume d'un candidat supraconducteur topologique : Sr_2RuO_4	Wen Huang
Refroidissement algorithmique d'un bain chaud par des opérations thermiques	Alvaro Alhambra
La source européenne de spallation : le neutron de la prochaine génération	Ken Andersen
Algorithmes quantiques pour des distributions classiques de probabilités	Alexander Belovs
Accélération quadratique de la recherche d'un vertex marqué, par le truchement d'une marche quantique	Stacey Jeffery
Algorithmes quantiques pour des fonctions composées ayant des intrants communs	Justin Thaler
Systèmes de preuve quantiques pour des durées exponentielles itérées et au-delà	Henry Yuen
Expériences sur les ions piégés aux laboratoires nationaux Sandia	Susan Clark
Nouvelles formes de matière avec des atomes ultrafroids : champs magnétiques synthétiques et suprasolidité	Wolfgang Ketterle
Performance asymptotique de la téléportation basée sur un port	Felix Leditzky
Mesure d'interactions de N corps à l'aide de photons intriquée : théorie et réflexions sur des expériences possibles	Eric Bittner
Le retour de la méthode polynomiale : limites serrées d'interrogation quantique à l'aide de polynômes duaux	Robin Kothari
Filtrage du bruit spatial par la correction d'erreurs de détection quantique	David Layden
Excitations dans le suprafluide topologique ^3He	Yoonseok Lee
Recuit quantique avec des hamiltoniens non stochastiques	Layla Hormozi
L'isolement spatial implique une connaissance nulle inconditionnelle, même en cas d'intrication	Nick Spooner
La métrologie quantique devient réelle	Konrad Banaszek

Séminaires

Suppression du désordre et symétries émergentes d'interactions fortes	Martin Savage
Algèbre réelle, marches aléatoires et théorie de l'information	Tobias Fritz
Comment apprendre un état quantique	John Wright
Refroidissement indépendant des discontinuités et recuit hybride classique-quantique (HQCA)	Peter Schumacher
Exploitation d'ordinateurs quantiques à fort niveau de bruit	Joel Wallman
Manipulation de la cohérence quantique avec des ressources finies	Kun Fang
Résonance magnétique à assistance quantique sur plusieurs échelles de longueur	Ashok Ajoy
Molécules ultrafroides : de la chimie quantique à l'informatique quantique	Alan Jamison
Étude de la matière quantique synthétique dans des circuits supraconducteurs	Alex Ruichao Ma
Un circuit optomécanique à micro-ondes avec commande mécanique paramétrée	Shun Yanai
Deux sujets : théories quantiques des champs; antennes biomimétiques	Sayeh Rajabi
États quantiques, états de Berry et structures en forme de gâteau de mariage à effet Hall quantique dans des boîtes quantiques en graphène	Fereshte Gharhari Kermani
Dispositifs quantiques à micro-ondes fondés sur la photonique de Josephson	Max Hofheinz
Atomes de composés alcalino-terreux dans des pinces optiques	Alexandre Cooper-Roy
Applications potentielles du calcul quantique à la géophysique de l'exploration	Shahpoor Moradi
Limites de l'utilisation de l'image de Heisenberg	James Franson
Inégalité de Tchebychev quantique et ses applications	Frédéric Magniez
Télémétrie quantique	Stefan Frick
Compilation quantique à assistance quantique (arXiv:1807:00800)	Sumeet Khatri
Avantage quantique dans l'apprentissage de la parité avec du bruit	Daniel Kyungdeok Park
De l'estimation des probabilités quantiques à la simulation de circuits quantiques	Hakop Pashayan
Utilisation de systèmes quantiques macroscopiques comme détecteurs	Swati Singh
Contrôle dynamique de supraconducteurs et d'atomes ultrafroids	Ludwig Mathey
Modélisation des interactions entre des nanofeuilles hydrophobes et des membranes lipidiques	Jun Fan
Proposition de simulation quantique à l'aide d'états de réseaux de tenseurs produits uniquement de manière optique	Ish Dhand

Système de décalage de phase de radiofréquence fondé sur des pellicules minces supraconductrices de YBaCuO	Eldad Holdengreber
Dynamique de la cohérence quantique dans des systèmes à N corps non à l'état d'équilibre	Salil Bedkihal
Simulation quantique de systèmes de Fermi mésoscopiques	Philipp Preiss
Stabilisation dissipative et manipulation d'états du chat de Schrödinger pour la correction d'erreurs quantiques	Alexander Grimm
Hadrons exotiques à partir de CDQ en treillis	Randy Lewis
Construction d'ordinateurs quantiques supraconducteurs de plus en plus gros	David P. Pappas
Cohérence maximale et théorie des ressources de la pureté	Dagmar Bruss
Limites asymptotiques de l'estimation de fréquence quantique	Jan Haase
Attention à la marche : inégalités de Cheeger et algorithmes adiabatiques	Michael Jarret
Dissipation cryogénique dans des cavités optomécaniques nanométriques	Bradley Hauer
Optique quantique chirale « en espace libre » et antenne quantique de « quelques atomes »	Peter Zoller
Matrice de densité d'espace-temps pour des variables continues	Tian Zhang
La spectroscopie du point de vue de l'information quantique	Raul Garcia-Patron
Mesures après l'état quantique pour des systèmes à variables continues	Jinglei Zhang
Mesure de quantums de mouvement mécanique sans démolir leur caractère quantique	Luca Dellantonio
Lien entre la mesure douce d'états quantiques et la confidentialité différentielle	Scott Aaronson
Jeux non locaux avec corrélations synchrones	Brad Lackey
Sélection d'opérations unitaires dans des protocoles à partage de clé secrète quantique sans intrication	Juan Xu

I. Scientifiques invités

Affiliation	Pays
Université Tsinghua	Chine
Université d'Innsbruck	Autriche
Université de Chicago	États-Unis
Collège de William et Mary	États-Unis
Université de l'Illinois	États-Unis
Université de l'Alberta	Canada
Université de la Floride	États-Unis
Institut de technologie du Massachusetts	États-Unis
Institut Périmètre	Canada
Division de la recherche de Microsoft	États-Unis
Université de Houston	États-Unis
Université de la Colombie-Britannique	Canada
Université de sciences et technologie de Chine	Chine
Université du Colorado à Boulder	États-Unis
Institut national de technologie, Rourkela	Inde
Université de Virginie	États-Unis
Institut de sciences photoniques	Espagne
Institut indien de technologie (IIT), Kanpur	Inde
Institut indien de technologie (IIT), Bombay	Inde
Université d'Ulm	Allemagne
Université de la Californie du Sud	États-Unis
Université de technologie de Delft	Pays-Bas
Université du Chili	Chili
Université de Düsseldorf	Allemagne
Université Yeshiva	États-Unis
Université nationale autonome du Mexique	Mexique
Université Yale	États-Unis
Institut national des normes et de la technologie	États-Unis
Université York	Canada
Université technologique de Sydney	Australie
Université Tsinghua	Chine
Université Queen's de Belfast	Royaume-Uni
Institut Birla de technologie et de sciences de Pilani	Inde
Université de Stuttgart	Allemagne
Université Fudan	Chine
Collège de Bellevue, État de Washington	États-Unis
Collège universitaire de Dublin	Irlande
Université de Heidelberg	États-Unis
Université technologique de Sydney	Australie
NIC-DESY, Zeuthen	Allemagne

Affiliation	Pays
Université de Brandon	Canada
Université fédérale de l'ABC	Brésil
Université des sciences et technologies de Hong Kong	Hong Kong
Université de Varsovie	Pologne
Institut d'information quantique, Université technique de Rhénanie-Westphalie à Aix-la-Chapelle	Allemagne
Université de Pékin	Chine
Université du Maryland	États-Unis
Institut Birla de technologie et de sciences de Pilani	Inde
Université Stanford	États-Unis
Université d'État de New York à Buffalo	États-Unis
Université Tsinghua	Chine
Technion – Institut de technologie d'Israël	Israël
Institut de technologie du Massachusetts	États-Unis
Université Tsinghua	Chine
Université des sciences et technologies électroniques de Chine	Chine
Université Tsinghua	Chine
Institut de technologie du Massachusetts	États-Unis
Raytheon – BBN Technologies	Canada
Raytheon – BBN Technologies	Canada
Université de Strathclyde, Glasgow	Royaume-Uni
Université de Copenhague	Danemark
Université d'Aarhus	Danemark
Université Fudan	Chine
Université Fudan	Chine
Université de la Californie du Sud à Berkeley	États-Unis
Université Macquarie	Australie
Université de Bristol	Royaume-Uni
QuIC – Université libre de Bruxelles	Belgique
Université d'aéronautique et d'astronautique de Nankin	Chine
Université d'État du Montana	États-Unis
Université nationale d'Irlande	Irlande
Membre du conseil d'administration de l'IQC	Canada
Membre du conseil d'administration de l'IQC	Canada
Université Lakehead	Canada
Université d'Oxford	Royaume-Uni
Institut de technologie du Massachusetts	États-Unis
Université d'Exeter	Royaume-Uni
Centre d'études théoriques, Institut indien de technologie	Inde
Université de Nankin	Chine
Université d'Ariel	Israël

Affiliation	Pays
Anyon Systems	Canada
Université de Sydney	Australie
Institut d'optique et d'information quantiques	Autriche
Institut de physique et de génie quantiques du Texas	États-Unis
Université d'Ulm	Allemagne
Centre de recherche T.J.-Watson d'IBM	États-Unis
Institut de recherche sur les normes et la science de Corée du Sud	Corée du Sud
Université du Maryland	États-Unis
NIC-DESY, Zeuthen	Allemagne
Collège universitaire de Londres	Royaume-Uni
Laboratoires nationaux Sandia	États-Unis
Institut de recherche Raman	Inde
Université Jiaotong	Chine
Université des sciences et technologies électroniques de Chine	Chine
Université de Toronto	Canada
Université de la ville de Hong Kong	Hong Kong
Institut Laue-Langevin	France
Université normale de Pékin	Chine
Académie chinoise des sciences	Chine
Université de Hambourg	Allemagne
Université du Delaware	États-Unis
Université de Sydney	Australie
Université du Manitoba	Canada
Institut des sciences et technologies avancées de Corée du Sud	Corée du Sud
Université Georgetown	États-Unis
Université de Kyoto	Japon
Université d'État de Louisiane	États-Unis
Université Fudan	Chine
Université Fudan	Chine
QuSoft, Centre de recherche sur les logiciels quantiques	Pays-Bas
Université Notre-Dame	États-Unis
Université de la Colombie-Britannique	Canada
Université de Bristol	Royaume-Uni
Université de Lettonie	Lettonie
NIC-DESY, Zeuthen	Allemagne
Université Tsinghua	Chine
Université Paris-Diderot	France
Université de sciences et technologie de Chine	Chine
Université de Toronto	Canada
Laboratoire lorrain de recherche en informatique	France

Affiliation	Pays
Division des instruments de neutronique, source européenne de spallation	Suède
Recherche et développement pour la défense Canada	Canada
Université de la Colombie-Britannique	Canada
Université du Maryland à Baltimore	États-Unis
Université Turgut-Özal	Turquie
Université de Chicago	États-Unis
Université de Calgary	Canada
Université Charles de Prague	République tchèque
Institut Périmètre	Canada
Institut de technologie de la Californie	États-Unis
Université de Sherbrooke	Canada
Institut national des normes et de la technologie	États-Unis
Université de technologie de Delft	Pays-Bas
Université Queen's de Kingston	Canada
Université McMaster	Canada
Université McMaster	Canada
Université de Princeton	États-Unis
Laboratoire de Shenzhen Pengcheng	Chine
Institut de technologie du Massachusetts	États-Unis
Université de la Californie à Berkeley	États-Unis
Université Temple	États-Unis
Collège impérial de Londres	Royaume-Uni
Université de Princeton	États-Unis
Technion – Institut de technologie d'Israël	Israël
Université de la Sarre	Allemagne
Université Amherst College	États-Unis
Université de Cambridge	Royaume-Uni
Université de Saõ Paulo	Brésil
Université de la Californie à San Diego	États-Unis
Université Rice	États-Unis
Institut de technologie du Massachusetts	États-Unis
Université d'État du Mississippi	États-Unis
Université de la Californie à Davis	États-Unis
Université d'État du Michigan	États-Unis
Institut Périmètre	Canada

J. Visites de représentants universitaires, gouvernementaux et industriels

Organisme	Nombre de visiteurs
Représentants universitaires	
Recteur et pro-vice-chancelier de l'Université d'Adelaïde	2
Activité de développement	5
Université Queen's	20
Étudiants de 1er cycle en informatique quantique de l'Université de Guelph	7
Étudiants du programme PSI de l'Institut Périmètre	15
Étudiants diplômés potentiels	7
Participants à l'atelier sur les preuves de sécurité en DQC	26
Représentants gouvernementaux	
Conseil national de recherches du Canada	1
Délégués commerciaux principaux d'Affaires mondiales Canada	21
Investir au Canada	2
Ambassadeur du Canada en Chine	3
Laboratoire de recherche de la marine des États-Unis	5
Représentants industriels	
Association ontarienne de gestion des achats	31
Alibaba	15
Bohr Technologies	3
1Qubit	2
Ocado	1
Groupe Rank	1
X (auparavant Google X)	3
CSS Security (visiteurs d'Isara)	4
Verdexus; Nova LVX (Suisse); Lyceum Capital (Royaume-Uni)	3
Comcast et SSIMWAVE	5
North (auparavant Thalmic Labs)	4
Maria Gotsch (partenariat avec la Ville de New York)	1
QVI	3
Emerging Tech Cluster Immersion Experience, Conférence mondiale de TCI Network, (Communitech)	25
Conférence DRIVE	35
Particuliers	12
Participants à la Conférence IQC-Chine sur les technologies quantiques	60
Visiteurs à la séance portes ouvertes sur l'exploitation des technologies quantiques	120

K. Couverture médiatique

La liste complète des parutions dans les médias est disponible sur demande.

L. Gouvernance

Les pages qui suivent donnent la biographie des membres actuels du comité de direction, du conseil d'administration et du comité consultatif scientifique de l'IQC.

Comité de direction

Kevin Resch, directeur général par intérim

Kevin Resch a obtenu en 1997 un baccalauréat spécialisé en chimie physique à l'Université Queen's de Kingston, au Canada. Il a obtenu une maîtrise et un doctorat en physique de l'Université de Toronto, respectivement en 1998 et en 2002, sous la direction d'Aephraim Steinberg. Son mémoire de maîtrise et sa thèse de doctorat portaient sur l'optique quantique expérimentale. Par la suite, Kevin Resch a été boursier postdoctoral du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) au sein de l'équipe d'Anton Zeilinger à l'Université de Vienne, en Autriche, et boursier de recherche au laboratoire de technologie quantique d'Andrew White à l'Université du Queensland à Brisbane, en Australie. Il s'est joint au Département de physique de l'Université de Waterloo et à l'Institut d'informatique quantique (IQC) en 2006.

Charmaine Dean, vice-rectrice à la recherche et aux affaires internationales, Université de Waterloo

Charmaine Dean est vice-rectrice à la recherche et aux affaires internationales ainsi que professeure au Département de statistique et d'actuariat à l'Université de Waterloo. Elle s'intéresse à la mise au point de méthodes de cartographie des maladies, ainsi qu'aux études longitudinales, à la conception d'essais cliniques et aux analyses spatio-temporelles. Ces travaux sont en grande partie motivés par des applications directes à d'importants problèmes concrets en biostatistique et en écologie. À l'heure actuelle, les principales applications de ses recherches concernent la survie après un pontage coronarien, la cartographie de maladies et de taux de mortalité, l'écologie forestière, la gestion des incendies, les estimations de l'exposition à la fumée à partir d'images satellitaires, ainsi que la modélisation des débits temporaires et intermittents de cours d'eau en vue de l'analyse et de la prédiction des inondations.

Bob Lemieux, doyen de la Faculté des sciences, Université de Waterloo

Bob Lemieux, Ph.D., s'est joint à l'Université de Waterloo le 1er juillet 2015 à titre de doyen de la Faculté des sciences. Auparavant, il était professeur au Département de chimie et vice-doyen à la recherche à la Faculté des arts et des sciences de l'Université Queen's. Bob Lemieux a une longue expérience à titre d'administrateur, chercheur, mentor et professeur. Sa passion pour le travail d'équipe et la collaboration l'a amené à promouvoir une culture de synergie et de partenariats entre facultés et autres entités universitaires. M. Lemieux est devenu professeur au Département de chimie de l'Université Queen's en 1992. Ses recherches pluridisciplinaires sur la conception de matériaux évolués de cristaux liquides présents dans les dispositifs de micro-affichage de haute performance lui ont valu de nombreuses distinctions internationales, dont le prix Samsung 2012 pour un chercheur en milieu de carrière et le prix d'excellence en recherche du Premier ministre de l'Ontario. Bob Lemieux est l'un des chercheurs bénéficiaires d'une subvention du programme FONCER. Il a obtenu à 2 reprises le prix d'enseignement du

Département de chimie et a été lauréat du prix W.J.-Barnes d'excellence en enseignement de l'Association des étudiants de 1er cycle de la Faculté des arts et des sciences de l'Université Queen's. Il a été chef du Département de chimie pendant 5 ans et vice-doyen à la recherche à la Faculté des arts et des sciences de l'Université Queen's. Il a aussi participé au recrutement d'un titulaire d'une chaire d'excellence en recherche du Canada.

Pearl Sullivan, doyenne de la Faculté de génie, Université de Waterloo

Pearl Sullivan a obtenu un baccalauréat en génie avec distinction (1985) et une maîtrise ès sciences (1986) en génie métallurgique de l'Université technique de la Nouvelle-Écosse. En 1990, elle a obtenu un doctorat de l'Université de la Colombie-Britannique en génie des matériaux, où elle s'est spécialisée dans la défaillance de 131 matériaux composites renforcés avec des fibres de carbone. Mme Sullivan a entrepris sa carrière universitaire à l'Université de technologie de Nanyang, à Singapour, en 1991, puis est revenue au Canada en 1994 pour se joindre au Département de génie mécanique de l'Université du Nouveau-Brunswick (UNB). Elle a reçu à 2 reprises le prix d'excellence en tant que professeure à l'UNB.

En 2004, Pearl Sullivan est devenue professeure au Département de génie mécanique et mécatronique de l'Université de Waterloo, qu'elle a dirigé de 2006 à 2011. Elle a reçu en 2009 le prix de l'université pour un rendement exceptionnel. Adepte convaincue de la recherche interdisciplinaire, elle a été la directrice fondatrice du programme conjoint d'études supérieures en nanotechnologie des facultés de génie et des sciences. Mme Sullivan est devenue doyenne de la Faculté de génie en juillet 2012.

Stephen Watt, doyen de la Faculté de mathématiques, Université de Waterloo

Stephen M. Watt est doyen de la Faculté de mathématiques et professeur à l'École d'informatique David-R.-Cheriton de l'Université de Waterloo. Avant de se joindre à l'Université de Waterloo, il avait le titre de professeur distingué à l'Université Western, où il a été directeur du Département d'informatique et directeur du Centre ontarien de recherches en algèbre informatisée. Auparavant, il avait occupé des postes au Centre de recherches T.J.-Watson d'IBM à Yorktown Heights (USA), de même qu'à l'INRIA et à l'Université de Nice (France). Les domaines de recherche du professeur Watt comprennent les algorithmes et systèmes d'algèbre informatisés, les langages de programmation et compilateurs, la reconnaissance mathématique de l'écriture manuscrite et l'analyse de documents. Il a été l'un des auteurs originaux des systèmes algébriques informatisés Maple et Axiom, architecte principal du langage de programmation Aldor et de son compilateur chez IBM Research, et co-auteur des normes MathML et InkML du consortium W3C. M. Watt a été l'un des fondateurs de Maplesoft en 1988 et a été membre de son conseil d'administration de 1998 à 2009. Il a été membre du conseil d'administration du groupe Descartes Systems de 2001 à 2015, dont 2 mandats à titre de président du conseil. Il siège actuellement aux conseils d'administration de Waste Diversion Ontario, qui supervise la gestion de tous les programmes de recyclage de l'Ontario, et de la Fondation McMichael d'art canadien. Stephen Watt a reçu de nombreuses distinctions, dont un doctorat honorifique de l'Université de l'Ouest (Roumanie), la médaille J.W.-Graham pour l'informatique et l'innovation (Waterloo), et un prix d'excellence en innovation (IBM).

Conseil d'administration

Mike Lazaridis (président du conseil), cofondateur et associé directeur, Quantum Valley Investments

Mike Lazaridis est le fondateur de la société de télécommunications Blackberry (auparavant Research In Motion). Il a été vice-président du conseil d'administration de la société et président de son comité de l'innovation. L'IQC a été fondé en 2002 grâce à la vision et à l'incroyable générosité de M. Lazaridis, qui a fait don de plus de 105 millions de dollars à l'Institut depuis sa fondation. Mike Lazaridis est également le fondateur de l'Institut Périmètre de physique théorique.

Tom Brzustowski, professeur RBC, École de gestion Telfer, Université d'Ottawa

Tom Brzustowski a obtenu un baccalauréat ès sciences en génie physique à l'Université de Toronto en 1958 et un doctorat en génie aéronautique à l'Université de Princeton en 1963. Il a été professeur au Département de génie mécanique de l'Université de Waterloo de 1962 à 1987. Il a été chef de ce département de 1967 à 1970 et vice-recteur, Affaires académiques, de l'Université de Waterloo de 1975 à 1987. Il a ensuite été sous-ministre au sein du gouvernement de l'Ontario de 1987 à 1995. Tom Brzustowski a été nommé président du CRSNG en octobre 1995 et a vu son mandat renouvelé en 2000. Il est officier de l'Ordre du Canada ainsi que membre élu de l'Académie canadienne de génie et de la Société royale du Canada.

Charmaine Dean, vice-rectrice à la recherche et aux affaires internationales, Université de Waterloo

Voir la biographie sous la rubrique *Comité de direction*.

Robert Dunlop, retraité d'Industrie Canada

Robert Dunlop a récemment pris sa retraite d'Industrie Canada, où il a été sous-ministre adjoint responsable de la science et de l'innovation de 2009 à 2014. Auparavant, il a été sous-ministre adjoint au ministère fédéral des Finances, où il a codirigé la Direction du développement économique et des finances intégrées. Au cours de sa carrière, M. Dunlop a exercé des responsabilités dans un certain nombre de domaines, dont la gestion de programmes, l'élaboration de politiques et l'appui aux ministres. Robert Dunlop est né à Montréal, où il a fait des études en économie et en finance à l'Université McGill. Il vit maintenant à Toronto.

Cosimo Fiorenza, vice-président et avocat-conseil, Quantum Valley Investments

Cosimo Fiorenza, vice-président du conseil, a joué un rôle majeur dans le développement de la *Quantum Valley* dans la région de Waterloo. Il est membre fondateur du conseil d'administration de l'Institut Périmètre. En plus d'être vice-président du conseil d'administration, M. Fiorenza est membre du comité des finances et de l'audit ainsi que du comité de gestion des investissements de l'Institut Périmètre, et a été auparavant coprésident du conseil d'orientation de cet Institut. Il est également président du conseil d'administration de *Friends of Perimeter Institute* (Amis de l'Institut Périmètre) et membre du conseil d'administration de l'AIMS-NEI Canada, l'un des partenaires de rayonnement international de l'Institut Périmètre.

M. Fiorenza est vice-président et avocat-conseil de Quantum Valley Investments, où il a contribué à la fondation de nombreuses entreprises de technologie quantique. À titre de membre du conseil d'administration et du bureau de direction de plusieurs de ces jeunes pousses, il les aide activement dans un large éventail de domaines, dont le recrutement, les finances, la propriété intellectuelle, la collecte de fonds et les relations avec les gouvernements.

M. Fiorenza a également participé à la mise sur pied de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, dont il est toujours membre du conseil d'administration et du comité des finances. En 2016, il a contribué à la fondation de Quantum Valley Ideas Lab (Laboratoire d'idées de la *Quantum Valley*), organisme de bienfaisance qui se consacre à la recherche appliquée en physique quantique, et plus précisément à la mise au point de technologies quantiques sur lesquelles reposeront de nouveaux produits et de nouvelles entreprises au Canada. M. Fiorenza est vice-président de ce laboratoire d'idées, ainsi que membre de son comité des finances et de son comité de gestion des investissements. Auparavant, il a passé environ 20 ans dans de grands cabinets d'avocats de Toronto, où il a conseillé certaines des plus grandes sociétés et des principaux entrepreneurs au sujet de l'impôt sur le revenu et de questions commerciales, en particulier en matière de technologie et de structure internationale. Cosimo Fiorenza a obtenu un diplôme en administration des affaires à l'Université Lakehead et un diplôme en droit à l'Université d'Ottawa. Il est membre du Barreau de l'Ontario depuis 1991.

Mark Pecen, PDG, Approach Infinity inc.

Mark Pecen est PDG de la société Approach Infinity inc. Cette société offre des services de conseil à des entreprises qui ont besoin de vérification technologique préalable ainsi que des conseils en gestion dans les domaines des communications sans fil et des nouvelles technologies, des entreprises de technologie en croissance rapide et de leurs partenaires investisseurs de capital de risque. Approach Infinity possède un réseau de dirigeants expérimentés et d'experts en gestion de la technologie, de l'innovation, de la recherche-développement, de la commercialisation, des ventes, des normes mondiales, des brevets, de la technologie et de l'entrepreneuriat. Elle compte des personnes compétentes dans des disciplines techniques précises telles que la théorie de l'information, les systèmes de radiofréquences, les protocoles de systèmes sans-fil, la cryptographie, etc. M. Pecen a pris sa retraite comme vice-président principal, recherche et technologie de pointe, et conseiller du PDG de BlackBerry, fabricant de téléphones multifonctions. Il a été responsable de la mise sur pied et de la gestion du Centre de recherche en technologie de pointe de BlackBerry ainsi que d'une partie importante de son portefeuille de brevets dans le domaine du sans-fil. Ancien innovateur distingué et membre du comité consultatif scientifique de Motorola, Mark Pecen a également dirigé des travaux de consultation pour des clients en Amérique du Nord et en Europe.

David Fransen, ancien consul général du Canada à Los Angeles

David Fransen a travaillé de 1985 à 1988 au Bureau du Conseil privé, où il a agi comme conseiller en matière de politiques, entre autres pour l'élaboration du Plan vert en 1990, la rédaction de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* et de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, ainsi que la création de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale. Il est ensuite devenu directeur des politiques d'encadrement économique à la Direction générale de la politique stratégique, au sein d'Industrie Canada. En 1999, M. Fransen est devenu directeur général du Centre de développement de la santé humaine de Santé Canada. En 2003, il a été nommé sous-ministre adjoint, Secteur de l'industrie, à Industrie Canada, où il a été principalement chargé de donner des conseils en matière de politiques ainsi

que de gérer des programmes liés à certains secteurs économiques clés du Canada. David Fransen est devenu directeur administratif de l'Institut d'informatique quantique en 2006. Plus récemment, il a été consul général du Canada à Los Angeles.

Wayne Kozun, ancien vice-président principal, Actions de sociétés ouvertes, Régime de retraite des enseignantes et des enseignants de l'Ontario (RREO)

Wayne Kozun a été responsable du service Actions de sociétés ouvertes du RREO. Ce service comprend des portefeuilles gérés à l'interne, l'équipe Placements relationnels stratégiques et la supervision de gestionnaires externes auxquels le RREO fait principalement appel pour étendre sa portée géographique. Pour remplir sa mission, le service Actions de sociétés ouvertes examine les pratiques de gouvernance des entreprises dans lesquelles le RREO investit. Wayne Kozun s'est joint au RREO en 1995 et y a occupé divers postes, dont récemment celui de vice-président principal, Titres à revenu fixe et Placements non traditionnels. Il est membre des conseils d'administration de la Coalition canadienne pour une bonne gouvernance, du Pacific Pension & Investment Institute et de Camelot UK Lotteries Ltd. Il est titulaire d'un baccalauréat en sciences économiques de l'Université Western et d'un MBA de l'École de gestion Ivey de cette même université. Il est également diplômé de l'Institut CFA ainsi que de l'Institut des administrateurs d'entreprise.

Comité consultatif scientifique

Chris Monroe, professeur, Université du Maryland (président du comité)

Christopher Monroe est un spécialiste expérimenté de la physique atomique, moléculaire et optique. Il a obtenu son doctorat à l'Université du Colorado en 1992. De 1992 à 2000, il a été postdoctorant et membre du personnel du groupe de stockage d'ions de David Wineland à l'Institut national des normes et de la technologie des États-Unis (NIST), à Boulder, au Colorado. En 2000, M. Monroe s'est joint à l'Université du Michigan, où il a introduit l'utilisation de photons individuels pour coupler de l'information quantique entre des ions atomiques. En 2006, il est devenu directeur du Centre FOCUS à l'Université du Michigan. En 2007, Chris Monroe a obtenu le titre de professeur Bice-Sechi-Zorn de physique à l'Université du Maryland et a été élu membre du nouvel Institut quantique conjoint de l'Université du Maryland et du NIST. En 2007-2008, son équipe a réussi une intrication quantique entre deux atomes très éloignés et a téléporté de l'information quantique entre des atomes séparés par une grande distance.

Harry Buhrman, professeur, Centre pour les mathématiques et l'informatique (CWI)

Harry Buhrman dirige le groupe de recherche sur les algorithmes et la complexité au Centre pour les mathématiques et l'informatique (en abrégé CWI pour *Centrum Wiskunde en Informatica*), auquel il s'est joint en 1994. Depuis 2000, il est également professeur titulaire d'informatique à l'Université d'Amsterdam. Ses recherches portent sur l'informatique quantique, les algorithmes, la théorie de la complexité et la biologie informatique. L'un des points saillants de ses travaux est un article intitulé *Quantum Entanglement and Communication Complexity* (Intrication quantique et complexité de la communication) écrit avec Richard Cleve, de l'Université de Waterloo. Les auteurs y démontrent que l'intrication quantique permet d'effectuer de manière plus efficace certaines tâches de communication. Harry Buhrman est en outre l'un des concepteurs d'une méthode générale pour établir les limites des ordinateurs quantiques. Il est l'auteur de plus de 100 publications scientifiques.

Anthony Leggett, professeur, Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Anthony J. Leggett est professeur à l'Université de l'Illinois depuis 1983, où il a le titre de professeur John-D.-et-Catherine-T.-MacArthur, et professeur de physique au Centre d'études avancées. Il est colauréat du prix Nobel de physique 2003 pour ses travaux de pionnier dans le domaine de la suprafluidité. Il est membre de l'Académie nationale des sciences des États-Unis, de la Société américaine de philosophie, de l'Académie américaine des arts et des sciences, de l'Académie des sciences de Russie (à titre de membre étranger), ainsi que membre élu de la Société royale de Londres, de la Société américaine de physique et de l'Institut américain de physique. Anthony Leggett est membre honoraire de l'Institut de physique du Royaume-Uni. En 2004, la reine Elizabeth II l'a fait chevalier commandeur de l'ordre de l'Empire britannique, pour « services rendus à la physique ». Il est également titulaire distingué d'une chaire de recherche Mike-et-Ophelia-Lazaridis.

Umesh Vazirani, professeur, Université de la Californie

Umesh Vazirani est professeur au sein de la division d'informatique du Département de génie électrique et d'informatique de l'Université de la Californie à Berkeley. Il est directeur du Centre d'information et de calcul quantiques de Berkeley (BQIC). Il a obtenu le prix Friedman de mathématiques en 1985 et une bourse présidentielle de jeune chercheur de la Fondation nationale des sciences des États-Unis (NSF) en 1987. Umesh Vazirani a écrit avec Michael Kearns le livre intitulé *An Introduction to Computational Learning Theory* (Introduction à la théorie de l'apprentissage automatique) et est actuellement à la fine pointe de la recherche en informatique quantique.

Anton Zeilinger, professeur, Université de Vienne

Anton Zeilinger est professeur de physique à l'Université de Vienne (et auparavant à l'Université d'Innsbruck). Il est connu pour avoir réalisé de multiples expériences en interférométrie quantique ainsi qu'une démonstration de téléportation quantique. Ses travaux ont influencé les progrès expérimentaux dans un nouveau sous-domaine de la physique, la théorie de l'information quantique. Anton Zeilinger a également contribué à faire progresser la physique théorique et les fondements de la mécanique quantique – en faisant la démonstration d'une amplification du paradoxe d'Einstein-Podolsky-Rosen, où l'on considère non plus seulement deux, mais trois particules intriquées.

Wojciech Zurek, professeur, Laboratoire national de Los Alamos

Wojciech Hubert Zurek est membre titulaire du Laboratoire national de Los Alamos (LANL). Il fait autorité dans un certain nombre de domaines en physique, dont la physique quantique, et en particulier la décohérence. Ses travaux ont également une grande utilité potentielle dans le domaine nouveau de l'informatique quantique. M. Zurek a été formé à Cracovie, en Pologne (M.Sc. en 1974), et à Austin, au Texas (Ph.D. en 1979). Il a passé 2 ans à Caltech à titre de boursier Tolman, puis a commencé à travailler au LANL à titre de boursier J.-Oppenheimer. Il a dirigé le groupe d'astrophysique théorique du LANL de 1991 à 1996, alors qu'il a été nommé membre titulaire du Laboratoire dans la Division de la théorie. Wojciech Zurek est actuellement associé étranger du programme *Cosmologie* de l'Institut canadien de recherches avancées.

M. Personnel administratif

Personnel administratif de l'IQC au 31 mars 2019

Taso Alkiviades
Jeannie Bairos
Emma Bartlett
Erica Boland
Maren Butcher
Sara Clark
Matt Coper
Hillary Dawkins
Monica Day
Emma DeSousa
Christine Dietrich
Greg Digulla
Melissa Donnelly
John Donohue
Lino Eugene
Kathryn Fedy
Guanru Feng
Tracey Forrest
Matt Fries
Yufei Ge
Sandra Gibson
Brian Goddard
Stefan Heinemann
Brendon Higgins
Shoshannah Holdom
Greg Holloway
Taminiau Ivar
Sofija Jelacic
Lana Kovacevic
Kim Kuntz
Jisu Kwon
Deler Langenber
Chin Lee
Vito Logiudice
Rachel Marriott
Kaitlyn McDonell
Brian Moffat
Mai-Britt Mogensen
Brian Neill
Nathan Nelson-Fitzpatrick
Adele Newton
Angela Olano
Mary Lyn Payerl
Michele Roche
Alex Rollinson
Roberto Romero
Rodello Salandanan
Matt Schumacher
Matt Scott
Peter Sprenger
Siobhan Stables
Harmeny Storer
Dylan Totzke
Carly Turnbull
Andrew Turski
Tarralee Weber
Steve Weiss
Adam Winick

N. Données financières – Rapport de l'auditeur

Veuillez fair référence au document rapport des auditeurs IQC F19 ISED