15 ans
DE DÉCOUVERTE ET D'INNOVATION

UNIVERSITÉ DE WATERLOO | IQC Institut d'informatique Quantique

rapport annuel | 17

« IL SE PASSE QUELQUE CHOSE DE VRAIMENT EXCEPTIONNEL ICI À WATERLOO, DE LA THÉORIE À L'EXPÉRIENCE ET

AU-DELÀ. »

TRADUIT D'UNE CITATION DU
PROFESSEUR STEPHEN HAWKING

UNIVERSITÉ DE WATERLOO | IQC Institut d'informatique Quantique

MERCI

L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE (IQC) REMERCIE MIKE ET OPHELIA LAZARIDIS, LE GOUVERNEMENT DU CANADA ET LA PROVINCE DE L'ONTARIO DE LEUR APPUI VISIONNAIRE.

MERCI AUX PERSONNES ET ORGANISMES SUIVANTS DE LEUR SOUTIEN GÉNÉREUX ET CONTINU ENVERS L'IQC :

Académie autrichienne des sciences | Activité des projets de recherche avancés sur le renseignement (IARPA) | Agence des projets de recherche avancée de la Défense américaine (DARPA) | Agence fédérale de développement économique pour le Sud de l'Ontario (FedDev) | Agence spatiale canadienne | Bourses canadiennes du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II | Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis | Bureau de la recherche navale des États-Unis | C2C Link Corporation | Centre de la sécurité des télécommunications | Centres d'excellence de l'Ontario (CEO) | Chaires d'excellence en recherche du Canada (CERC) | Chaires de recherche du Canada (CRC) | COM DEV | Connect Canada | Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) | Doug Fregin | Fondation Alfred-P.-Sloan | Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) | Fondation Gerald-Schwartz-et-Heather-Reisman | Gouvernement du Canada | Institut canadien de recherches avancées (ICRA) | Institut coréen des sciences et de la technologie (KIST) | Institut européen des normes de télécommunications (ETSI) | Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*) | Institut Périmètre de physique théorique | Laboratoires nationaux Sandia | Lockheed Martin | Mike et Ophelia Lazaridis | Ministère du Patrimoine canadien | Mitacs | Programme coopératif de Technion | Province de l'Ontario | Quantum Valley Investments | Services publics et Approvisionnement Canada | Société américaine de physique – Diffusion des connaissances

DES REMERCIEMENTS PARTICULIERS VONT À L'UNIVERSITÉ DE WATERLOO, DEMEURE DE L'IQC, POUR LA PLACE PRIVILÉGIÉE QU'ELLE ACCORDE À LA RECHERCHE, À L'INNOVATION ET À L'EXCELLENCE.

UNIVERSITÉ DE WATERLOO | IQC Institut d'informatique Quantique

rapport annuel | 17

15 ans DE DÉCOUVERTE ET D'INNOVATION

Table des matières

À LA RECHERCHE DE L'EXCELLENCE ET DE L'INNOVATION 08

Ordinateurs ultrapuissants, cryptographie inviolable, dispositifs quantiques, nouveaux matériaux, nanotechnologies d'une efficacité inédite, voilà quelques avancées réalisées à l'IQC.

ATTIRER LES MEILLEURS AU MONDE 14

Réunir les chefs de file de la recherche en science et technologie de l'information quantique, afin de créer un pôle d'expertise dans le domaine.

DES RECHERCHES DE CLASSE MONDIALE 24

De la théorie à l'expérience, grâce à l'étendue et à la qualité de son infrastructure de recherche, l'IQC peut faire progresser la science et la technologie de l'information quantique au plus haut niveau international.

VERS LA *QUANTUM VALLEY* : 15 ANS D'INNOVATION ET DE DÉCOUVERTE 32

Des notions théoriques et des technologies révolutionnaires passent des laboratoires aux marchés et sont à la veille d'avoir des effets réels sur la société.

MENER LA PROCHAINE RÉVOLUTION QUANTIQUE 42

Les étudiants diplômés font partie intégrante de notre communauté scientifique.

L'IQC DANS LE MONDE 52

Des recherches importantes doivent être communiquées à ceux qui les soutiennent, aux personnes qu'elles fascinent ainsi qu'aux gens qui en bénéficieront ultimement.

SURVOL DE L'ANNÉE : BILAN ET PERSPECTIVES 60

Ensemble, nous menons la prochaine révolution quantique.

Publié par l'IQC — Communications et Initiatives stratégiques

INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE

Université de Waterloo
200, avenue University Ouest
Waterloo (Ontario), Canada N2L 3G1
Téléphone : +1 519 888-4021
Télécopie : +1 519 888-7610
Courriel : iqc@uwaterloo.ca

UNIVERSITÉ DE WATERLOO | IQC Institut d'informatique Quantique

À LA RECHERCHE DE *l'excellence* ET DE L'INNOVATION

Nos objectifs stratégiques :

Faire de Waterloo un centre de calibre mondial pour la recherche sur les technologies quantiques et leurs applications.

Attirer du personnel hautement qualifié en informatique quantique.

Constituer une source faisant autorité en matière d'idées, d'analyses et de commentaires sur l'information quantique.

Notre vision

L'EXPLOITATION DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE SE TRADUIRA PAR DES TECHNOLOGIES RÉVOLUTIONNAIRES QUI BÉNÉFICIERONT À LA SOCIÉTÉ ET DEVIENDRONT UN NOUVEAU MOTEUR DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE AU XXIe SIÈCLE.

Notre mission

DÉVELOPPER LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION QUANTIQUE AU PLUS HAUT NIVEAU INTERNATIONAL, GRÂCE À LA COLLABORATION ENTRE INFORMATICIENS, INGÉNIEURS, MATHÉMATICIENS ET PHYSICIENS.

Principaux domaines de recherche

CALCUL QUANTIQUE

Utilisation d'atomes, de molécules et de particules de lumière pour créer de nouveaux bits d'information — appelés *qubits*, qui peuvent avoir en même temps les valeurs 0 et 1 — afin d'effectuer des calculs

COMMUNICATION QUANTIQUE

Mise au point de canaux de communication ultrasûrs, de protocoles de transmission à faible bruit ainsi que de réseaux mondiaux satellitaires, en exploitant la puissance de la physique quantique

CAPTEURS QUANTIQUES

Utilisation des lois de la mécanique quantique pour mettre au point de nouveaux capteurs avec des gains exponentiels de précision, de sensibilité, de sélectivité et d'efficacité

MATÉRIAUX QUANTIQUES

Conception de matériaux ayant des propriétés quantiques, pour des processeurs d'information quantique robustes et d'autres dispositifs

FAIRE UNE DIFFÉRENCE

Excellence
EN RECHERCHE

L'IQC FAIT PROGRESSER LA RECHERCHE LA PLUS INNOVATRICE EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION QUANTIQUE.

298 scientifiques, dont **7** titulaires de chaire de recherche

1 506 publications depuis 2002

Plus de **200** bourses et subventions actives, dont **41** subventions du CRSNG et **6** subventions de la FCI

Pôle d'activité intellectuelle

329 collaborations de recherche avec plus de **180** institutions dans **34** pays en 2017

132 publications en 2017

30 357 citations depuis 2002

RÉPERCUSSIONS POSSIBLES DANS LES DOMAINES SUIVANTS : ENVIRONNEMENT, VIE PRIVÉE, MÉDECINE, TRANSPORTS, TECHNOLOGIE, COMMUNICATIONS NUMÉRIQUES

Rôle moteur
EN INFORMATIQUE QUANTIQUE

FAIRE SORTIR LA SCIENCE DES LABORATOIRES POUR ENTHOUSIASMER LES CHEFS DE FILE SCIENTIFIQUES DE DEMAIN.

Éducation et implication du public — Points saillants en 2017

161 193 visiteurs de l'exposition *QUANTUM* et de l'exposition mobile *QUANTUM* présentées dans **13** villes sur une période de **14** mois

4 826 participants à des programmes de promotion de la science et technologie de l'information quantique en 2017

1 301 458 minutes de visionnement dans YouTube d'exposés sur la physique quantique dans **200** pays

Activités et formations scientifiques en 2017

ORGANISATION DE :

4 conférences

4 ateliers

42 séminaires

24 colloques

PARRAINAGE DE :

15 ateliers et conférences dans le monde

367 étudiants inscrits à des cours et travaux pratiques

196 enseignants recevant des outils pour présenter la physique quantique en classe

Un écosystème
QUANTIQUE

LA RÉGION DE WATERLOO EST UN MILIEU IDÉAL POUR LES PARTENARIATS ENTRE LE MILIEU UNIVERSITAIRE ET L'INDUSTRIE. DES DÉCOUVERTES FONDAMENTALES EN PHYSIQUE QUANTIQUE PASSENT DÉJÀ DES LABORATOIRES AUX MARCHÉS.

Plus de **60** brevets au nom de chercheurs de l'IQC

7 entreprises issues de l'essaimage

Plus de **250** chercheurs dans un rayon de 1 km travaillant sur la science, la technologie et les répercussions commerciales des technologies quantiques

Anciens

68 % en milieu universitaire

21 % dans l'industrie

Plus de **35** partenariats avec des entreprises

« APRÈS AVOIR ÉTÉ CONFINÉS PENDANT UN SIÈCLE DANS DES TEXTES THÉORIQUES, LES EFFETS QUANTIQUES HALLUCINANTS SONT À LA VEILLE D'ÊTRE AUX PREMIÈRES LOGES DE L'INNOVATION. » [TRADUCTION]

THE ECONOMIST (MARS 2017)

Message du président du conseil

La mise sur pied d'une nouvelle industrie mondiale fondée sur des technologies quantiques transformatrices poursuit son élan, et les chercheurs de l'IQC continuent de jouer un rôle de premier plan dans les progrès de nos connaissances fondamentales en informatique quantique et la mise au point de nouvelles technologies quantiques.

L'IQC continue d'amener à Waterloo les meilleurs chercheurs, en particulier les jeunes talents les plus prometteurs. Je souhaite la bienvenue à Christine Muschik et à William Slofstra, recrutés par l'IQC au cours de la dernière année. Avec 29 professeurs chercheurs, l'IQC est cité comme le plus grand centre en son genre au monde.

Je tiens également à souligner les progrès importants réalisés par des chercheurs de l'IQC pendant l'année dans le domaine de l'information quantique. En voici quelques points saillants :

- le groupe de **KEVIN RESCH** a collaboré avec une équipe de chercheurs de l'Institut Périmètre dirigée par **ROBERT SPEKKENS**, afin de trouver une nouvelle manière de mieux connaître la nature, et notamment de mettre à l'épreuve la physique quantique;
- **RAYMOND LAFLAMME**, **JONATHAN BAUGH** et **BEI ZENG** ont cherché à améliorer le contrôle quantique par le lancement d'un processeur quantique de 12 qubits;
- parmi les percées de l'année 2017 en physique, le magazine *Physics World* a cité les travaux des groupes de **THOMAS JENNEWEIN** et de **KEVIN RESCH**, qui ont observé une interférence entre 3 photons;
- le groupe de **THOMAS JENNEWEIN** a également réussi un test de distribution quantique de clés (DQC) dans un avion en vol, étape importante sur la voie du déploiement d'un système satellitaire;
- **MICHAEL REIMER** a publié dans *Nature* un article sur une nouvelle source brillante de photons intriqués à partir de nanofils;
- le groupe de **DMITRY PUSHIN** et **DAVID CORY** a fait la démonstration de nouvelles méthodes visant à contrôler l'état de moment angulaire orbital de neutrons et de photons.

D'autre part, je suis enthousiasmé par la contribution cruciale de l'IQC à un nombre croissant d'entreprises en démarrage dans la *Quantum Valley*. À titre d'exemple, une entreprise de résonance de spin électronique (RSE) quantique fondée par un chercheur de l'IQC a mis au point une technique 100 000 fois plus puissante et sensible que les techniques classiques existantes. Une jeune pousse de la *Quantum Valley* à laquelle participent des chercheurs de l'IQC a créé un environnement qui, grâce à une mise à jour logicielle, permettra à ses clients de protéger leurs données sensibles contre les attaques d'un ordinateur quantique. Cette entreprise permet aussi au Canada d'être un chef de file de l'élaboration de nouvelles normes mondiales en matière de technologies à l'épreuve des attaques quantiques.

Dans le rapport annuel précédent, je mentionnais la subvention de 76 millions de dollars accordée à l'IQC dans le cadre du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada du gouvernement fédéral. L'Université de Waterloo et des entreprises dont Quantum Valley Investments ont ajouté une somme équivalente, de sorte que le programme Technologies quantiques transformatrices (TQT) dirigé par le professeur David Cory dispose d'un budget de 140 millions de dollars. TQT aidera l'IQC à continuer d'être un chef de file mondial de la mise au point d'un ordinateur quantique universel, de capteurs quantiques, de nouveaux matériaux quantiques et d'une technologie de cryptographie quantique.

Je veux aussi souligner les travaux importants de l'IQC, sous la direction du professeur Thomas Jennewein, en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne, qui visent la mise au point d'une technologie permettant de transmettre sur de longues distances des données cryptées par DQC. Ces travaux contribueront à éliminer les limites matérielles à l'utilisation de la DQC dans le monde.

Il ne faut pas oublier les travaux de l'IQC en vue de la mise au point d'un ordinateur quantique universel. Comme de nombreuses autres équipes dans le monde, des chercheurs de l'IQC s'attaquent aux problèmes techniques de l'utilisation d'un grand nombre de qubits. Les travaux de l'IQC se distinguent toutefois par l'importance accordée à la mise au point d'un système quantique ayant intrinsèquement moins de bruit. Les scientifiques de l'IQC savent qu'on ne peut pas construire un ordinateur quantique utile sans régler le problème fondamentalement difficile du bruit, et ils croient que leurs efforts en ce sens seront cruciaux à long terme pour la réalisation d'un ordinateur quantique universel.

Au cours de la dernière année, Raymond Laflamme a quitté la direction de l'IQC, qu'il assumait depuis sa fondation il y a 15 ans. Ses qualités de meneur et ses nombreuses contributions en tant que directeur fondateur ont contribué à faire de l'IQC l'un des quelques centres importants en physique quantique au monde. Je tiens à remercier personnellement Raymond pour son action prépondérante, son travail acharné et sa précieuse contribution.

Je suis heureux qu'il continue de jouer un rôle crucial au sein de l'IQC comme titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-John-von-Neumann. Raymond Laflamme est un expert mondialement reconnu de la correction des erreurs quantiques, et ses travaux en la matière auront beaucoup d'importance dans les efforts de l'IQC pour mettre au point un ordinateur quantique ayant un faible niveau de bruit. Je suis ravi que Raymond ait décidé de continuer de remplir une mission aussi importante à l'IQC, et je suis heureux d'avoir aidé l'Université de Waterloo à créer cette chaire.

L'IQC s'inscrit dans la culture entrepreneuriale qui a conduit à la réputation internationale et au succès de l'Université de Waterloo. L'effort pluridisciplinaire sans précédent mené depuis 15 ans pour exploiter la puissance de l'informatique quantique ainsi que la technologie des matériaux quantiques et nanométriques procurera à l'Université de Waterloo un avantage concurrentiel indéniable à l'échelle mondiale pour les décennies à venir.

Mike Lazaridis, O.C., O.Ont., FRS, MSRC
PRÉSIDENT,
CONSEIL D'ADMINISTRATION DE L'IQC

RENFORCER UNE INDUSTRIE QUANTIQUE MONDIALE

Message du président du comité de direction

La réalisation du premier ordinateur quantique est une tâche titanesque. Mais je suis sûr qu'elle sera accomplie à l'IQC.

Je regarde vers l'avenir en me rappelant la croissance et le succès incroyables qu'a connus l'IQC jusqu'à ce jour. La passion, une vision audacieuse et le soutien extraordinaire de Mike Lazaridis ont permis à l'IQC d'émerger comme chef de file mondial de l'information quantique.

Sous la direction de Raymond Laflamme, l'IQC s'est taillé une place parmi les instituts de recherche les plus avancés au monde — un épicentre de la prochaine révolution de l'information. Au moment où il fête son 15e anniversaire, l'IQC passe à une autre étape de son histoire avec la fin du mandat de Raymond comme directeur général.

À l'IQC, les plus grandes idées portent sur ce qui se passe à l'échelle la plus petite. L'Université de Waterloo, qui vise à être l'une des universités les plus innovatrices au monde, accueille une nouvelle vice-rectrice à la recherche en la personne de Charmaine Dean. Nous travaillons ensemble en vue d'atteindre cet objectif ambitieux, et nul ne doute que la recherche en physique quantique y contribuera de manière importante en renforçant une industrie quantique mondiale aux profondes répercussions sociales.

George Dixon
PRÉSIDENT,
COMITÉ DE DIRECTION DE L'IQC

Vice-recteur principal et vice-recteur à l'enseignement, Université de Waterloo

Attirer LES MEILLEURS AU monde

RÉUNIR LES CHEFS DE FILE DE LA RECHERCHE EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION QUANTIQUE, AFIN DE CRÉER UN PÔLE D'EXPERTISE DANS LE DOMAINE.

ATTIRER DES CHERCHEURS DE CLASSE MONDIALE

K. Rajibul Islam

K. RAJIBUL ISLAM s'est joint à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo en provenance du Centre d'atomes ultrafroids (CUA) du MIT et de l'Université Harvard. Comme postdoctorant au CUA, il a étudié l'intrication au sein d'atomes bosoniques neutres ultrafroids dans des potentiels optiques. Il a participé à l'atelier *Quantum Innovators* (Innovateurs dans le domaine quantique) en 2015 et dirige maintenant le laboratoire d'informatique quantique avec des ions piégés (QITI pour *Quantum Information with Trapped Ions*) à l'IQC. Ses recherches portent sur le calcul quantique, la physique expérimentale des systèmes quantiques à N corps, ainsi que sur l'utilisation de l'holographie et de la microscopie à haute résolution pour manipuler des systèmes à N corps.

Crystal Senko

Pendant son postdoctorat au CUA du MIT et de l'Université Harvard, **CRYSTAL SENKO** a travaillé à la mise au point d'un guide d'ondes à cristal photonique pour la transmission d'information entre atomes. Elle a aussi participé à l'atelier *Quantum Innovators* (Innovateurs dans le domaine quantique) pendant son stage postdoctoral en 2015. Elle est maintenant membre de l'IQC et du Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Mme Senko étudie comment des atomes individuels, appelés *qudits*, codant de multiples niveaux d'information, peuvent améliorer l'efficacité du codage d'information dans des systèmes quantiques. Ses travaux sur les ions piégés portent sur les possibilités de construction de systèmes quantiques, y compris celle de chaînes de spin au comportement complexe qui doit encore faire l'objet d'une démonstration en laboratoire.

Jon Yard

Ancien membre de la Station Q de la Division de la recherche de Microsoft, **JON YARD** s'est joint à l'IQC comme professeur agrégé au Département de combinatoire et optimisation de la Faculté de mathématiques, ainsi que professeur associé à l'Institut Périmètre de physique théorique. M. Yard s'attaque à des problèmes mathématiques complexes dans les domaines de l'information quantique, du calcul quantique, de la théorie des nombres algébriques, de la théorie quantique des champs et de la théorie de la complexité algorithmique. Ses recherches visent à comprendre les possibilités et les limites d'appareils de calcul et de distribution d'information.

CORPS PROFESSORAL

2002

Raymond Laflamme
Physique et astronomie

Hamed Majedi
2001-2014, maintenant à l'Université de Waterloo

Michele Mosca
Combinatoire et optimisation

Ashwin Nayak
Combinatoire et optimisation

2004

Andris Ambainis
2004-2009, maintenant à l'Université de Lettonie

Richard Cleve
École David-R.-Cheriton d'informatique

2005

Gregor Weihs
2005-2010, maintenant à l'Université d'Innsbruck

Joseph Emerson
Mathématiques appliquées

Debbie Leung
Combinatoire et optimisation

2006

Norbert Lütkenhaus
Physique et astronomie

Frank K. Wilhelm-Mauch
2006-2013, maintenant à l'Université de la Sarre

John Watrous
École David-R.-Cheriton d'informatique

Kevin Resch
Physique et astronomie

2007

Andrew Childs
2007-2016, maintenant à l'Université du Maryland

Jonathan Baugh
Chimie

2008

Ben Reichardt
2008-2011, maintenant à l'Université de la Californie du Sud

2009

Thomas Jennewein
Physique et astronomie

Adrian Lupaşcu
Physique et astronomie

2010

David Cory
Chimie

Dmitry Pushin
Physique et astronomie
professeur-chercheur adjoint de 2010 à 2017, maintenant professeur adjoint

Robert Koenig
2010-2015, maintenant à l'Université technique de Munich

2011

Guo-Xing Miao
Génie électrique et informatique

2012

Matteo Mariantoni
Physique et astronomie

Christopher Wilson
Génie électrique et informatique

2014

Michal Bajcsy
Génie électrique et informatique

Raffi Budakian
Physique et astronomie

Kyung Soo Choi
Physique et astronomie

2015

Michael Reimer
Génie électrique et informatique

Vern Paulsen
Mathématiques pures

William Slofstra
Mathématiques pures
professeur-chercheur adjoint de 2015 à 2017, maintenant professeur adjoint

2016

Wei Tsen
Chimie

Na Young Kim
Génie électrique et informatique

Jon Yard
Combinatoire et optimisation

K. Rajibul Islam
Physique et astronomie

Crystal Senko
Physique et astronomie

2017

Christine Muschik
Physique et astronomie

Les recherches effectuées à l'IQC sont fondamentalement interdisciplinaires, à la fois théoriques et expérimentales, et couvrent tous les aspects de l'informatique quantique. L'IQC encourage les collaborations entre disciplines et au-delà des frontières.

Nos chercheurs appartiennent à la fois à l'IQC et à l'un des 7 départements suivants dans 3 facultés de l'Université de Waterloo :

FACULTÉ DE MATHÉMATIQUES

- Mathématiques appliquées
- Combinatoire et optimisation
- École David-R.-Cheriton d'informatique
- Mathématiques pures

FACULTÉ DES SCIENCES

- Chimie
- Physique et astronomie

FACULTÉ DE GÉNIE

- Génie électrique et informatique

Groupes de recherche de l'IQC

Contrôle et correction d'erreurs quantiques
Raymond Laflamme

Contrôle quantique des ions piégés
Crystal Senko

Détection quantique en physique
Dmitry Pushin

Groupe de cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques
Michele Mosca

Groupe d'électronique de spin cohérente
Jonathan Baugh

Groupe de théorie de la communication quantique optique
Norbert Lütkenhaus

Groupe de théorie de l'information et du calcul quantiques
Richard Cleve
Joseph Emerson
Raymond Laflamme
Debbie Leung
Michele Mosca
Ashwin Nayak
Vern Paulsen
John Watrous
Jon Yard

Groupe des dispositifs quantiques supraconducteurs
Adrian Lupaşcu

Groupe des logiciels quantiques
Michele Mosca

Laboratoire de dispositifs photoniques quantiques
Michael Reimer

Laboratoire de matériaux et de dispositifs quantiques
Wei Tsen

Laboratoire de matière quantique et de lumière ultrafroides
Kyung Soo Choi

Laboratoire de matière quantique numérique
Matteo Mariantoni

Laboratoire de nanophotonique et d'optique quantique
Michal Bajcsy

Laboratoire de photonique quantique
Thomas Jennewein

Laboratoire de processeurs quantiques
David Cory

Laboratoire d'imagerie nanométrique par résonance magnétique
Raffi Budakian

Laboratoire d'informatique quantique avec des ions piégés
K. Rajibul Islam

Laboratoire d'ingénierie de systèmes quantiques
Christopher Wilson

Laboratoire d'innovation quantique (QuIN)
Na Young Kim

Laboratoire d'optique et d'information quantiques
Kevin Resch

Matériaux quantiques fonctionnels
Guo-Xing Miao

Mathématiques de l'information quantique
William Slofstra

Théorie de l'optique quantique
Christine Muschik

UNE *question* DE *personnes*

UNE DÉMARCHE DE COLLABORATION À L'ÉCHELLE MONDIALE

LA COLLABORATION EST UN CATALYSEUR DE DÉCOUVERTE. LES CHERCHEURS DE L'IQC SONT EN CONTACT ÉTROIT AVEC DES PAIRS D'INSTITUTIONS DU MONDE ENTIER. LE RÉSEAU INTERNATIONAL DE L'IQC CONTINUE DE S'ÉTENDRE, CRÉANT DES LIENS ET DES PARTENARIATS QUI JETTENT LES BASES D'INTÉRESSANTS DÉVELOPPEMENTS À VENIR.

Ententes et échanges

ENTENTES NATIONALES ET INTERNATIONALES

L'IQC a signé 9 ententes officielles visant à faciliter les projets de recherche conjoints ou en collaboration, ainsi que la poursuite d'intérêts scientifiques communs :

QUÉBEC
- Institut national de la recherche scientifique
- Institut transdisciplinaire d'information quantique

CHINE
- Université Tsinghua
- Université de sciences et technologie de Chine

INDE
- Institut de recherches Raman

ISRAËL
- Technion – Institut israélien de technologie

CORÉE
- Institut coréen des sciences et de la technologie

PAYS-BAS
- Université de technologie de Delft

SINGAPOUR
- Centre de technologies quantiques

ÉCHANGES INTERNATIONAUX

L'Université de Waterloo encourage la participation des étudiants, postdoctorants et chercheurs de l'IQC à des échanges. Ceux-ci favorisent les progrès de l'enseignement et de la recherche sur le traitement de l'information quantique. L'Université a conclu des accords d'échanges étudiants avec les institutions suivantes :

AUTRICHE
- Université d'Innsbruck

FRANCE
- École normale supérieure de Lyon
- Université Paris Diderot (Paris 7)

ALLEMAGNE
- Université Friedrich-Alexander d'Erlangen-Nuremberg

LETTONIE
- Université de Lettonie

PAYS-BAS
- Université de technologie de Delft

SINGAPOUR
- Université nationale de Singapour

EN 2017, LES CHERCHEURS DE L'IQC :

ONT PARTICIPÉ À **329 collaborations de recherche avec plus de 180 institutions dans 34 pays;**

ONT ACCUEILLI **159 scientifiques de 129 institutions de premier plan, pour échanger des idées et faire des recherches en informatique quantique.**

Plus de 70 % **des articles écrits en collaboration l'ont été avec des scientifiques étrangers.**

Calculs sur la matière condensée quantique

PROFIL D'UN MEMBRE AFFILIÉ

Le chercheur théoricien ROGER MELKO étudie les grandes questions de physique de la matière condensée quantique, à l'aide de méthodes de calcul telles que des simulations de Monte Carlo. En 2016, il a remporté la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP) pour ses réalisations exceptionnelles en début de carrière dans le domaine de la physique de la matière condensée. Il est actuellement titulaire de la chaire de recherche du Canada en physique quantique computationnelle à N corps.

À titre de membre affilié de l'IQC et professeur agrégé au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, M. Melko dirige la postdoctorante **HILARY CARTERET** et collabore avec d'autres chercheurs de l'IQC, dont le postdoctorant **CHRIS HERDMAN** et le membre affilié **PIERRE-NICHOLAS ROY**.

Après qu'un logiciel d'intelligence artificielle créé par Google eut défait Lee Sedol, champion du monde de go, jeu dont la complexité dépasse de plusieurs ordres de grandeur celle des échecs, Roger Melko a commencé à réfléchir à la manière dont l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle pourraient aider à résoudre les grands problèmes de la physique — en particulier s'ils étaient mis en œuvre dans un ordinateur quantique. En août 2016, M. Melko a organisé à l'Institut Périmètre de physique théorique une conférence visant à explorer le potentiel de l'apprentissage automatique pour la recherche en physique quantique.

Il a déclaré : « Pour le moment, la machine peut être championne d'échecs ou de go, mais ce n'est que le commencement d'une révolution beaucoup plus considérable. Ce à quoi nous assistons maintenant montre que l'apprentissage automatique pourrait faire progresser en profondeur la science, la technologie et la société. » [traduction]

UNIVERSITAIRES ET SCIENTIFIQUES INVITÉS

ENTRE AUTRES :

Leena Aggarwal,
Institut indien d'enseignement et de recherche en sciences

David Allcock,
Institut national des normes et de la technologie des États-Unis

José Aumentado,
Institut national des normes et de la technologie des États-Unis

Valentina Baccetti,
Université Macquarie

Shalev Ben-David,
Institut de technologie du Massachusetts

Juan Bermejo-Vega,
Institut Périmètre

Gaurav Bhole,
Université du Queensland

Nina Bindel,
Université technique de Darmstadt

Justin Bohnet,
Institut national des normes et de la technologie des États-Unis

Brendan Bramman,
Collège de Hastings

Michael Bremner,
Université de technologie de Sydney

Harry Buhrman,
Université d'Amsterdam

Alexei Bylinskii,
Institut de technologie du Massachusetts

Hugo Cable,
Université de Bristol

Andrew Cameron,
Université de l'Île-du-Prince-Édouard

Nai-Hui Chia,
Université d'État de Pennsylvanie

Hong Chiang,
Université de Chongqing

Joseph Choi,
Université de Rochester

Yonuk Chong,
Institut coréen de recherches sur les normes et la science

Charles W. Clark,
Institut national des normes et de la technologie des États-Unis

Milena Crnogorcevic,
Université Middlebury College

Animesh Datta,
Université de Warwick

Andy Ding,
Université Wesleyan Illinois

Lino Eugene,
Université McGill

Dennis Feng,
Université de la Californie à Berkeley

Andreas Fognini,
Université de technologie de Delft

Luis Garay,
Université Complutense de Madrid

Laura García-Álvarez,
Université du Pays Basque

Juan Carlos García-Escartín,
Université de Valladolid

Miriam Gauntlett,
Université de Cambridge

Peter Geltenbort,
Institut Laue-Langevin de Grenoble

Zhexuan Gong,
Université du Maryland à College Park

Stephen K. Gray,
Laboratoire national d'Argonne

Milena Grifoni,
Université de Ratisbonne

Simon Gröblacher,
Université de technologie de Delft

Jason Herrmann,
Université Harvard

Matt Hodel,
Institut de technologie du Massachusetts

Rolf Horn,
Quspin Technologies inc.

Sara Hosseini,
Université nationale d'Australie

Onur Hosten,
Université Stanford

Shilling Huang,
Université Tsinghua

Bruno Huttner,
ID Quantique

K. Rajibul Islam,
Centre d'atomes ultrafroids du MIT et de l'Université Harvard

Youn-Chang Jeong,
Agence de développement de la défense de la Corée du Sud

Noah Dylan Johnson,
Université du Wisconsin à Madison

Peter Johnson,
Université Dartmouth College

Robert Johnson,
Université d'État de Pennsylvanie

Amir Karamlou,
Institut de technologie du Massachusetts

Angela Karanjai,
Université de Sydney

Torsten Karzig,
Station Q, Division de la recherche de Microsoft

Thomas Kauten,
Université d'Innsbruck

Imran Khan,
Institut Max-Planck de physique de la lumière

Cheol-Joo Kim,
Université Cornell

Yoon-Ho Kim,
Université scientifique et technologique de Pohang

Marcelo Knobel,
Université d'État de Campinas (Unicamp)

Mike Kobierski,
Université McGill

Natsumi Komatsu,
Université Rice

Pravesh Kothari,
Université de Princeton

Sophie Laplante,
Université Paris-Diderot

Jean Lapointe,
Conseil national de recherches du Canada

Rébecca Lapointe,
Université de Montréal

Dariusz Lasecki,
Université Adam-Mickiewicz de Poznan

Mathieu Laurière,
Université de New York à Shanghaï

Youn Seok Lee,
Université nationale de Pusan

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

Yiruo Lin,
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Alexander Ling,
Centre de technologies quantiques

Rotem Liss,
Technion – Institut israélien de technologie

Zidu Liu,
Université de science et technologie de Chine

Jorma Louko,
Université de Nottingham

Shunlong Luo,
Académie de mathématiques et de science des systèmes, Académie chinoise des sciences

Michael Lynch,
Université Acadia

Xiaodong Ma,
Université de science et technologie de Chine

Xionfeng Ma,
Université Tsinghua

Arpita Maitra,
Institut indien de gestion de Calcutta

Laura Mancinska,
Université de Bristol

Jacob Marks,
Université Yale

Christoph Marquardt,
Institut Max-Planck de physique de la lumière

Mark McArdle,
eSentire Inc.

Akihiro Mizutani,
Université d'Osaka

Christopher Monroe,
Université du Maryland à College Park

Tal Mor,
Technion – Institut israélien de technologie

Bhaskaran Muralidharan,
Institut indien de technologie de Bombay

Daniela Angulo Murcillo,
Université nationale de Colombie

Christine Muschik,
Université d'Innsbruck

Robert Myers,
Institut Périmètre

Bienvenu Ndagano,
Université du Witwatersrand

William Oliver,
Institut de technologie du Massachusetts

Jonathan Oppenheim,
Collège universitaire de Londres

Zachary Pagel,
Université Tufts

Haining Pan,
Université de Nanjing

Serge-Olivier Paquette,
Université de Montréal

Apoorva D. Patel,
Centre de physique des hautes énergies, Institut indien des sciences

Atmn Patel,
École secondaire du district de Kingsville

Evan Peters,
Université d'État de l'Oregon

Marco Piani,
Université de Strathclyde

Todd Pittman,
Université du Maryland

Dominique Pouliot,
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Lorenzo M. Procopio,
Université de Vienne

Christian Prosko,
Université de l'Alberta

Fereshteh Rajabi,
Université Western

C. Jess Riedel,
Institut Périmètre

Ivana Rilak,
Université de Belgrade

William Rose,
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Mahrud Sayrafi,
Université de la Californie à Berkeley

Volkher Scholz,
Université de Gand

Sacha Schwarz,
Université de Berne

Karolina Sedziak,
Université Nicolas-Copernic

Crystal Senko,
Université Harvard

François Sfigakis,
Université de Cambridge

Nachiket Sherlekar,
Université de Waterloo

Heedeuk Shin,
Université scientifique et technologique de Pohang

Carlos Silva,
Université de Montréal

Stephanie Simmons,
Université Simon-Fraser

Urbasi Sinha,
Institut de recherche Raman

Sam Slezak,
Université d'État de Humboldt

Tom Stace,
Université du Queensland

Douglas Stebila,
Université McMaster

Martin Suchara,
Laboratoires de recherche d'AT&T

Shihai Sun,
Université nationale de technologie de la défense de la Chine

Matthew Taylor,
Université Dalhousie

Rakesh Tiwari,
Université McGill

Bill Unruh,
Université de la Colombie-Britannique

Mehran Vahdani,
Université de la Colombie-Britannique

Henry De Valence,
Université technique d'Eindhoven

Michael Walter,
Université Stanford

Yidun Wan,
Université Fudan

Dongsheng Wang,
Université de Calgary

Hengyan Wang,
Université de science et technologie de Chine

Tzu-Chieh Wei,
Université de la Colombie-Britannique

Ryan Wilson,
Université The College of New Jersey

Hugo Woerdeman,
Université Drexel

Michael Wolfe,
Université du Maryland

Franco N.C. Wong,
Institut de technologie du Massachusetts

Bowen Yang,
Université de Nankai

Penghui Yao,
Université du Maryland, comté de Baltimore

Beni Yoshida,
Institut Périmètre

Dapeng Yu,
Université de science et technologie du Sud de la Chine

Henry Yuen,
Université de la Californie à Berkeley

Man-Hong Yung,
Université de science et technologie du Sud de la Chine

Liuyan Zhao,
Université du Michigan

Yu Zheng,
Université de Nankai

Xiaobo Zhu,
Université de science et technologie de Chine

Karol Życzkowski,
Université Jagellonne

SCIENTIFIQUES INVITÉS À LONG TERME

ENTRE AUTRES :

Daniela Angulo Murcillo,
Université nationale de Colombie

Valentina Baccetti,
Université Macquarie

Gaurav Bhole,
Université du Queensland

Milena Crnogorcevic,
Université Middlebury College

Dennis Feng,
Université de la Californie à Berkeley

Andreas Fognini,
Université de technologie de Delft

Jason Herrmann,
Université Harvard

Matt Hodel,
Institut de technologie du Massachusetts

Shilling Huang,
Université Tsinghua

K. Rajibul Islam,
Centre d'atomes ultrafroids du MIT et de l'Université Harvard

Noah Dylan Johnson,
Université du Wisconsin à Madison

Robert Johnson,
Université d'État de Pennsylvanie

Amir Karamlou,
Institut de technologie du Massachusetts

Angela Karanjai,
Université de Sydney

Thomas Kauten,
Université d'Innsbruck

Natsumi Komatsu,
Université Rice

Rébecca Lapointe,
Université de Montréal

Dariusz Lasecki,
Université Adam-Mickiewicz de Poznan

Yoon Seok Lee,
Université nationale de Pusan

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

Yiruo Lin,
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Zidu Liu,
Université de science et technologie de Chine

Shunlong Luo,
Académie de mathématiques et de science des systèmes, Académie chinoise des sciences

Xiaodong Ma,
Université de science et technologie de Chine

Arpita Maitra,
Institut indien de gestion de Calcutta

Jacob Marks,
Université Yale

Akihiro Mizutani,
Université d'Osaka

Bienvenu Ndagano,
Université du Witwatersrand

Zachary Pagel,
Université Tufts

Haining Pan,
Université de Nanjing

Serge-Olivier Paquette,
Université de Montréal

Apoorva Patel,
Centre de physique des hautes énergies, Institut indien des sciences

Atmn Patel,
École secondaire du district de Kingsville

Dominique Pouliot,
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Ivana Rilak,
Université de Belgrade

Mahrud Sayrafi,
Université de la Californie à Berkeley

Karolina Sedziak,
Université Nicolas-Copernic

Francois Sfigakis,
Université de Cambridge

Nachiket Sherlekar,
Université de Waterloo

Martin Suchara,
Laboratoires de recherche d'AT&T

Yidun Wan,
Université Fudan

Hengyan Wang,
Université de science et technologie de Chine

Hugo Woerdeman,
Université Drexel

Michael Wolfe,
Université du Maryland

Bowen Yang,
Université de Nankai

Yu Zheng,
Université de Nankai

VISITES DE LA *QUANTUM VALLEY*

Recherche en physique quantique — Le Canada donne l'exemple

Lorsqu'il est question de recherche en physique quantique, le monde se tourne vers le Canada. Tout au long de l'année, nous accueillons des représentants des secteurs universitaire, industriel et gouvernemental, venus du monde entier pour échanger des idées dans le domaine et conclure des partenariats.

KOLINDA GRABAR-KITAROVIĆ, présidente de la Croatie, dans le laboratoire d'optique et d'information quantiques lors d'une visite à l'IQC

DES REPRÉSENTANTS DE **39** ENTREPRISES ET DE **10** GOUVERNEMENTS ONT VISITÉ LA *QUANTUM VALLEY*. MENTIONNONS ENTRE AUTRES :

- une délégation du ministère des Sciences de Taïwan
- une délégation de l'Initiative phare de technologie quantique de **l'UNION EUROPÉENNE**
- **BRIGITTE PROUCELLE** et **ANTOINE RAUZY**, de l'ambassade de France au Canada
- **ANNE KARI HANSEN OVIND**, ambassadrice de Norvège au Canada
- **KOLINDA GRABAR-KITAROVIĆ**, présidente de la Croatie

TQT Technologies Quantiques Transformatrices

GEORGE DIXON, vice-recteur à la recherche, Université de Waterloo; **MIKE LAZARIDIS**, fondateur et associé directeur, Quantum Valley Investments; **DAVID CORY**, titulaire d'une chaire d'excellence en recherche du Canada; l'honorable **KIRSTY DUNCAN**, ministre des Sciences; **FERIDUN HAMDULLAHPUR**, recteur et vice-chancelier, Université de Waterloo; **RAYMOND LAFLAMME**, directeur général fondateur, IQC; **BRENT HERBERT-COPLEY**, vice-président directeur, Conseil de recherches en sciences humaines

Technologies quantiques transformatrices

Les progrès constants de la recherche en physique quantique ouvrent de nouvelles perspectives théoriques, suggèrent des expériences et donnent des technologies concrètes. Une initiative mise sur pied l'automne dernier avec l'appui du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada continue de repousser les limites de nos connaissances dans le domaine.

Le programme *Technologies quantiques transformatrices* (TQT) s'attaque à 3 grands défis de la recherche en physique quantique : la mise au point d'un processeur quantique universel, la réalisation de capteurs quantiques révolutionnaires et les communications quantiques sur de grandes distances. Dirigé par **DAVID CORY**, titulaire de la chaire d'excellence en recherche du Canada sur le traitement de l'information quantique, le programme TQT vise à établir des liens entre la recherche universitaire et des applications industrielles dans une variété de domaines, ainsi qu'à préparer l'avènement de technologies quantiques transformatrices.

« La mécanique quantique permet de créer des dispositifs révolutionnaires qui sont impensables dans l'univers classique et qui transformeront notre façon d'interagir avec le monde et de nous instruire à son sujet. Le programme *Technologies quantiques transformatrices* vise à mettre au point de nouvelles technologies quantiques et à relier des appareils quantiques à des applications touchant la médecine, la santé, la navigation, l'environnement, les matériaux, etc. » [traduction]

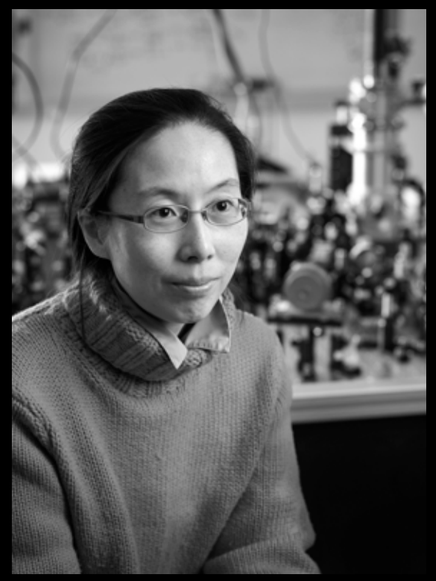
DAVID CORY,
titulaire d'une chaire d'excellence en recherche du Canada

DES RECHERCHES de classe mondiale

DE LA THÉORIE À L'EXPÉRIMENTATION, L'ÉTENDUE ET LA QUALITÉ DE L'INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE DE L'IQC LUI PERMETTENT DE FAIRE PROGRESSER LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION QUANTIQUE AU PLUS HAUT NIVEAU INTERNATIONAL.

DANS LE MONDE QUANTIQUE, LES RÈGLES EXISTANTES NE TIENNENT PLUS.

IL FAUT PARFOIS DU TEMPS POUR QUE LA RECHERCHE EXPÉRIMENTALE EN LABORATOIRE DONNE DES RÉSULTATS.



EXPLOREZ DES TERRITOIRES VIERGES.

OUVRIR LA VOIE VERS LA MISE AU POINT D'UN ORDINATEUR QUANTIQUE UNIVERSEL, QUBIT PAR QUBIT.

LA PASSION DE LA découverte

« JE PRÉFÈRE EXPLORER DES TERRITOIRES VIERGES. TOUS LES CHERCHEURS ONT LE MÊME OBJECTIF, MAIS ILS EMPRUNTENT DES CHEMINS DIFFÉRENTS ET SE COMMUNIQUENT LEURS EXPÉRIENCES EN COURS DE ROUTE. »

[TRADUCTION]

NA YOUNG KIM a emprunté le chemin le moins fréquenté. Elle a passé presque 2 ans à la mise au point de produits chez Apple inc., mais sa passion de la découverte l'a ramenée dans le milieu universitaire. Elle est revenue à la recherche à l'Institut d'informatique quantique (IQC) en 2016. Elle dirige le laboratoire d'innovation quantique (QuIN), qui vise à construire des processeurs quantiques à grande échelle fondés sur de nouveaux matériaux et des techniques avancées.

À l'heure actuelle, Mme Kim et son équipe sont en voie de mettre au point des machines quantiques à semi-conducteurs. « Le mot *machine* est générique, explique Mme Kim. Une machine quantique peut être un appareil, un système ou une architecture. Les détails font partie de la découverte. » [traduction]

Des matériaux-clés

Na Young Kim adopte une démarche ascendante et commence par les matériaux. Au cours de l'histoire, la pierre, le fer et divers métaux ont joué un rôle important dans la mise au point de la technologie. Mme Kim croit que l'ère quantique sera elle aussi marquée par des matériaux révolutionnaires.

La mise au point de matériaux est un domaine nouveau pour Mme Kim, qui a une formation de physicienne. Elle a beaucoup étoffé ses connaissances en science des matériaux, en chimie et en génie pour pouvoir pousser plus loin ses recherches. De fait, elle est aussi professeure au Département de génie électrique et informatique de l'Université de Waterloo.

Des circuits à semiconducteur aux performances supérieures

Na Young Kim et l'équipe de QuIN travaillent à la conception d'un circuit à semiconducteur dont les performances optiques, mécaniques et thermiques sont supérieures à ce qui existe à l'heure actuelle. Grâce à la physique quantique, les capacités améliorées de ce circuit pourraient contribuer de manière importante à faire le pont entre les technologies quantique et classique.

« L'ordinateur quantique ne remplacera probablement pas les ordinateurs classiques actuels, dit Mme Kim, mais il jouera un rôle complémentaire. » [traduction]

Les technologies classique et quantique peuvent être combinées pour résoudre des problèmes. On pourrait concevoir un simulateur quantique pour résoudre des problèmes de physique de la matière condensée, ou encore pour simuler des réactions chimiques, comme des liaisons moléculaires pour la conception et l'acheminement de médicaments.

De nouvelles perspectives

Mme Kim aborde la recherche d'une manière holistique. Elle planifie son travail avec soin, mais elle sait qu'il est important d'avoir l'esprit ouvert tout au long du processus. « La recherche et la découverte fonctionnent par cycles, dit-elle. Une excellente ingénierie offre de nouvelles perspectives pour l'étude des aspects fondamentaux de l'informatique quantique. » [traduction]

La science et la technologie de l'information quantique progresseront ensemble sur la voie audacieuse de la découverte.

Vers LA RÉALISATION D'UN *ordinateur quantique*

« IL FAUT PARFOIS DU TEMPS POUR QUE LA RECHERCHE EXPÉRIMENTALE DONNE DES RÉSULTATS. IL Y A DE TEMPS À AUTRE DE GRANDES PERCÉES, MAIS LES PETITES ÉTAPES SONT TOUT AUSSI IMPORTANTES POUR L'ATTEINTE DU BUT FINAL. »

[TRADUCTION]

C'est un matin tranquille. Dans un bâtiment du Centre d'avancement de la recherche (RAC), un bourdonnement et un couinement constants se font entendre dans le couloir. Ce ronronnement rassurant témoigne du fonctionnement continu et crucial du réfrigérateur à dilution, qui maintient un minuscule dispositif à basse température et dans l'état quantique voulu.

Tous les jours, le chercheur principal **JONATHAN BAUGH** se dirige vers le réfrigérateur à dilution, dans le laboratoire d'électronique de spin cohérente. Là, avec ses étudiants, il fait des expériences à basse température sur des appareils électroniques nanométriques, afin d'en savoir plus sur la physique quantique. « Si l'on comprend mieux comment contrôler la physique à l'échelle nanométrique, dit-il, cela donne de puissants outils de travail. » [traduction]

M. Baugh travaille depuis 15 ans à la mise au point de tels outils. Il a commencé son parcours à l'IQC comme l'un des tout premiers postdoctorants en 2002. **RAYMOND LAFLAMME**, qui dirigeait ses travaux, l'a initié à l'informatique quantique. Aujourd'hui, le groupe de recherche de Jonathan Baugh applique des méthodes de contrôle quantique à des systèmes quantiques individuels qu'il serait possible de multiplier, comme le spin d'un électron individuel emprisonné dans une boîte quantique (ce que l'on appelle aussi un atome artificiel). Les boîtes quantiques étudiées dans le laboratoire de M. Baugh sont faites de semiconducteurs et ont des dimensions de l'ordre de 50 nanomètres.

Contrôle à une échelle progressive

La capacité à contrôler des états quantiques à l'échelle de 1 ou 2 électrons est la première étape d'une entreprise plus ambitieuse. Le but ultime est d'arriver à construire un dispositif de traitement de l'information quantique à grande échelle — le cœur d'un ordinateur quantique. « Cela aurait des répercussions énormes et pourrait changer le monde, dit M. Baugh. Nous pouvons construire des modèles théoriques du comportement de ces systèmes quantiques. Mais tant que nous n'aurons pas réussi à en fabriquer et à les étudier en laboratoire, nous ne saurons pas quelles difficultés surgissent réellement lorsque l'on augmente la taille de ces dispositifs. » [traduction]

Un regard vers l'avenir

Il faut parfois du temps pour que la recherche expérimentale en laboratoire donne des résultats. Mais elle nous fournit un aperçu des applications futures des technologies quantiques. « Il y a parfois de grandes percées, dit M. Baugh, mais les petites étapes sont tout aussi importantes pour l'atteinte du but final. » [traduction]

Un exemple est celui de la memristance — une résistance ayant une mémoire — quantique, résultat d'une collaboration de Jonathan Baugh avec des collègues de l'Université d'Oxford. La memristance quantique assure la régulation du courant électrique à l'aide d'une paire de boîtes quantiques. Selon des spécialistes des neurosciences, des composants de ce type pourraient jouer un rôle important dans l'étude du fonctionnement du cerveau. Des memristances quantiques pourraient servir à constituer des circuits artificiels simulant la manière dont le cerveau fonctionne.

Au laboratoire, le bourdonnement et le couinement constants du réfrigérateur à dilution rappellent que les progrès se poursuivent. La technologie rattrape la théorie, ce qui est le cas des dispositifs nanométriques du laboratoire de Jonathan Baugh. On peut apercevoir le chemin qui mène vers la réalisation d'un ordinateur quantique.

La curiosité
EST LE MOTEUR
DE L'INNOVATION

RAYMOND LAFLAMME :

UN *parcours* MARQUÉ PAR LA *curiosité*

Comme toute innovation, les technologies quantiques sont issues de notre curiosité innée. Nous sommes curieux à propos de ce qui nous entoure. Nous apprenons comment les choses se comportent et fonctionnent. Nous saisissons ces comportements et les exploitons pour le bénéfice de la société. Et un nouveau cycle commence.

Dès son jeune âge, le sens inné de la curiosité de **RAYMOND LAFLAMME** l'a mis sur la voie de la découverte. Il a demandé à son grand-père comment les avions faisaient pour voler, et sa mère lui a montré comment réparer des tondeuses.

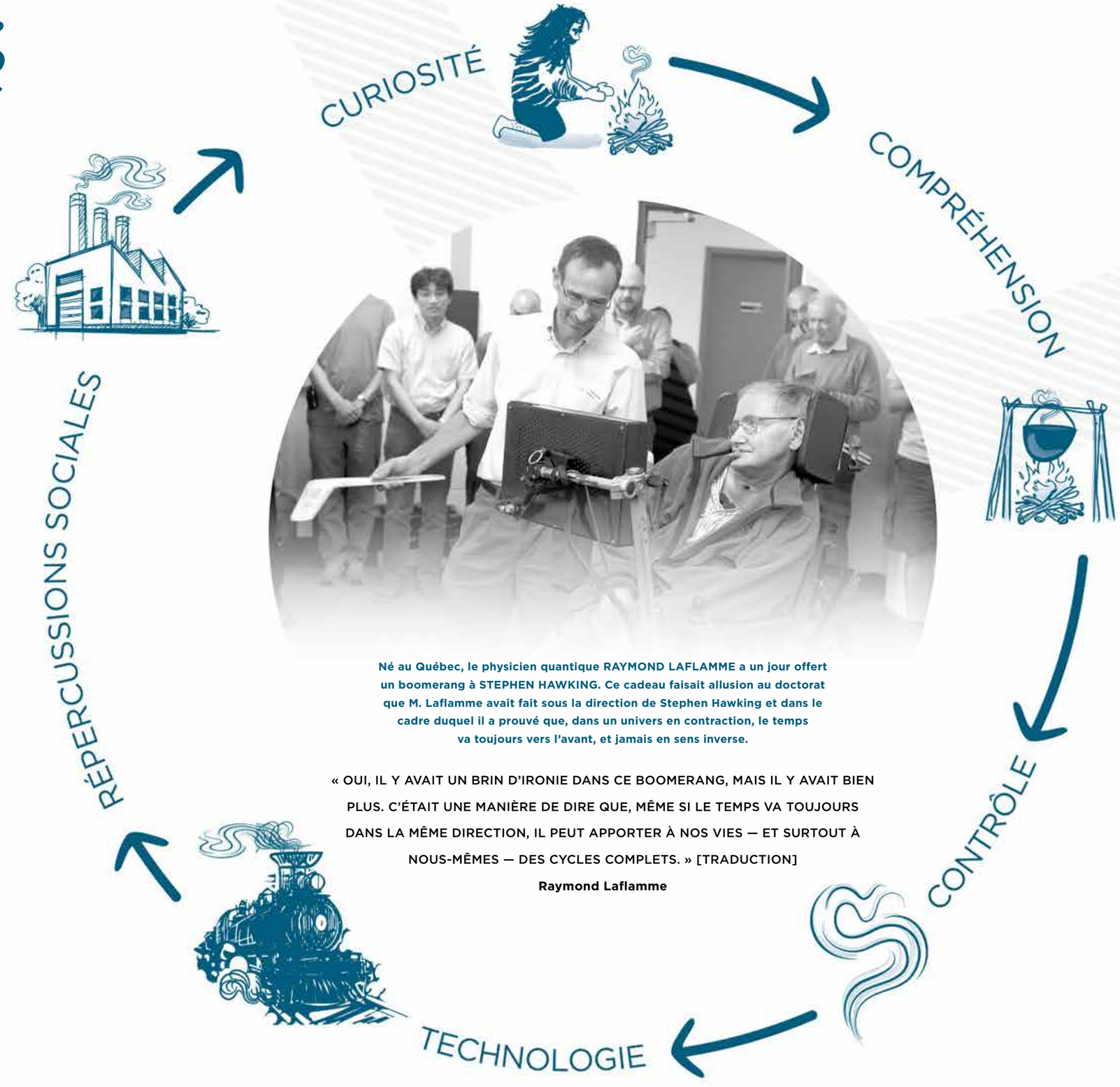
Sa curiosité naturelle l'a orienté vers une carrière en recherche. Il a obtenu son doctorat sous la direction de **STEPHEN HAWKING**, en travaillant sur la relativité générale et la cosmologie quantique.

Après avoir fait un stage postdoctoral grâce à une bourse Killam à l'Université de la Colombie-Britannique, Raymond Laflamme a commencé à étudier l'informatique quantique à titre de boursier Oppenheimer au Laboratoire national de Los Alamos, au Nouveau-Mexique.

C'est là qu'il a élaboré la théorie de la correction d'erreurs quantiques, dont il a réalisé la première démonstration expérimentale.

Sa curiosité a été piquée quand **MIKE LAZARIDIS** et **HOWARD BURTON** sont allés le rencontrer dans le laboratoire de **DAVID CORY**, à l'Institut de technologie du Massachusetts. M. Lazaridis avait une vision : mettre sur pied un institut d'informatique quantique à l'Université de Waterloo. Et il voulait que Raymond Laflamme le dirige. Celui-ci lui a répondu : « Si vous vous intéressez vraiment à l'information quantique, vous ne devez pas seulement vous concentrer sur l'aspect théorique — il doit y avoir aussi une forte composante expérimentale. Et cet institut devrait être pluridisciplinaire, réunissant des mathématiciens, des informaticiens, des chimistes et des ingénieurs. » [traduction]

M. Laflamme raconte qu'il a fait un acte de foi en ce qui est devenu l'emploi le plus passionnant de sa vie. Il a déménagé à Waterloo pour mettre sur pied l'Institut d'informatique quantique (IQC), dont il a été le directeur général pendant 15 ans. Au cours de cette période, l'IQC s'est établi comme un pôle de recherche de classe mondiale, plaçant le Canada à l'avant-garde de la révolution quantique. Maintenant, la curiosité ramène Raymond Laflamme vers la recherche pour commencer un nouveau cycle.



Né au Québec, le physicien quantique RAYMOND LAFLAMME a un jour offert un boomerang à STEPHEN HAWKING. Ce cadeau faisait allusion au doctorat que M. Laflamme avait fait sous la direction de Stephen Hawking et dans le cadre duquel il a prouvé que, dans un univers en contraction, le temps va toujours vers l'avant, et jamais en sens inverse.

« OUI, IL Y AVAIT UN BRIN D'IRONIE DANS CE BOOMERANG, MAIS IL Y AVAIT BIEN PLUS. C'ÉTAIT UNE MANIÈRE DE DIRE QUE, MÊME SI LE TEMPS VA TOUJOURS DANS LA MÊME DIRECTION, IL PEUT APPORTER À NOS VIES — ET SURTOUT À NOUS-MÊMES — DES CYCLES COMPLETS. » [TRADUCTION]

Raymond Laflamme

« LA CURIOSITÉ EST UN MOTEUR DE L'INNOVATION. NOTRE DÉSIR DE COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU MONDE QUI NOUS ENTOURE SE PROLONGE DANS LE BESOIN DE MAÎTRISER CE MONDE ET DE CRÉER DES TECHNOLOGIES BÉNÉFIQUES À LA SOCIÉTÉ. »

[TRADUCTION]

VERS LA *QUANTUM VALLEY*

Message du directeur général

Il y a 15 ans, je me suis aventuré en terrain inconnu. Sous l'impulsion visionnaire de Mike Lazaridis, l'Institut d'informatique quantique (IQC) a été fondé pour favoriser la recherche de pointe en vue de la prochaine révolution technologique — la révolution quantique. Aujourd'hui l'IQC est l'un des plus grands instituts de recherche en physique quantique au monde.

Quand je revois le chemin qui a mené à la croissance actuelle de l'IQC, je constate l'effort collectif et les réalisations extraordinaires d'une communauté scientifique dynamique. Nos professeurs, postdoctorants, étudiants, membres associés et affiliés font progresser la recherche dans le domaine quantique. Ils réalisent des découvertes et renforcent la réputation d'excellence en recherche à Waterloo. Des notions théoriques et des technologies révolutionnaires passent des laboratoires aux marchés et sont à la veille d'avoir des effets sur la société.

Je suis reconnaissant envers nos partenaires — Mike et Ophelia Lazaridis, Doug Fregin, l'Université de Waterloo ainsi que les gouvernements provincial et fédéral — pour leur appui constant, qui a permis à l'IQC de suivre et de façonner le paysage toujours changeant de la recherche à l'échelle mondiale. L'IQC joue un rôle crucial dans l'édification de la *Quantum Valley*, avec l'Institut Périmètre de physique théorique, Quantum Valley Investments et l'École Lazaridis de l'Université Wilfrid-Laurier.

Nous avons énormément progressé en 15 ans, mais il y a encore beaucoup à faire. Quand je regarde le chemin à parcourir, je vois des possibilités extraordinaires à explorer : de nouveaux domaines de recherche, des collaborations intéressantes et des progrès notables. Au cours de la prochaine année, un nouveau directeur définira pour l'IQC un parcours qui continuera de façonner et d'influencer notre programme de recherches à l'échelle nationale et internationale.

Merci à tous ceux qui se sont joints à l'IQC et l'ont soutenu dans son parcours exaltant. Ensemble, nous allons mener l'industrie de la technologie quantique.

Raymond Laflamme
DIRECTEUR GÉNÉRAL FONDATEUR

Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo

15 ans

DE RECHERCHE ET DE DÉCOUVERTE EN PHYSIQUE QUANTIQUE À L'IQC

02

Novembre
OUVERTURE OFFICIELLE DANS LE BÂTIMENT DE PHYSIQUE

03

Décembre
ENGAGEMENT DE **3 MILLIONS DE DOLLARS** DE **MIKE ET OPHELIA LAZARIDIS** ET CONTRIBUTIONS ÉQUIVALENTES DE LA FCI ET DU FONDS ONTARIEN POUR L'INNOVATION

Septembre
DÉBUT DES ACTIVITÉS DE DIFFUSION DES CONNAISSANCES, AVEC UNE INVITATION À DES ÉLÈVES D'ÉCOLES SECONDAIRES DE LA RÉGION À VISITER LES LABORATOIRES

04

Avril
DON DE **30 MILLIONS DE DOLLARS** DE **MIKE ET OPHELIA LAZARIDIS** DANS LE CADRE D'UN FINANCEMENT TOTAL DE 100 MILLIONS

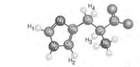
Mai
DÉMÉNAGEMENT DANS LE BÂTIMENT B.F.-GOODRICH

Novembre
1er ÉTUDIANT À OBTENIR UN DOCTORAT
DAVID POULIN

Novembre
1ère RÉALISATION EXPÉRIMENTALE DU REFROIDISSEMENT ALGORITHMIQUE D'UN BAIN DE CHALEUR DANS UN SYSTÈME À SPIN NUCLÉAIRE À L'ÉTAT SOLIDE, PAR **JONATHAN BAUGH**, **ASHWIN NAYAK**, **RAYMOND LAFLAMME** ET D'AUTRES

Mai
ENGAGEMENT DE **12,5 MILLIONS DE DOLLARS** DE **MIKE ET OPHELIA LAZARIDIS** POUR LE CENTRE QUANTUM-NANO MIKE-ET-OPHELIA-LAZARIDIS

05



Mai
DAVID CORY, **RAYMOND LAFLAMME** ET D'AUTRES ÉTABLISSENT POUR LONGTEMPS UN RECORD MONDIAL DU CONTRÔLE UNIVERSEL DU PLUS GRAND NOMBRE DE QUBITS (12)

06

Mars
ENGAGEMENT DE **50 MILLIONS DE DOLLARS** DU GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO À L'APPUI DE L'EXCELLENCE EN RECHERCHE

Mai
ENGAGEMENT DE **49 MILLIONS DE DOLLARS** DE LA FCI, DU FONDS POUR LA RECHERCHE EN ONTARIO ET DE L'UNIVERSITÉ DE WATERLOO, POUR LA CONSTRUCTION DU CENTRE QUANTUM-NANO LAZARIDIS

Juillet
MICHELE MOSCA ET D'AUTRES FONT LA DÉMONSTRATION DE L'AUTOTEST DE CIRCUITS QUANTIQUES

Janvier
PHILLIP KAYE, **RAYMOND LAFLAMME** ET **MICHELE MOSCA** PUBLIENT UN MANUEL RÉPUTÉ D'INTRODUCTION À L'INFORMATIQUE QUANTIQUE QUI FERA SA MARQUE

07

Avril
EXPANSION DE L'IQC DANS LE BÂTIMENT RAC I DU CENTRE D'AVANCEMENT DE LA RECHERCHE

08

Février
DON DE **50 MILLIONS DE DOLLARS** DE **MIKE ET OPHELIA LAZARIDIS**, ET CONTRIBUTIONS ÉQUIVALENTES DES GOUVERNEMENTS DE L'ONTARIO ET DU CANADA

Mai
L'IQC ET L'INSTITUT PÉRIMÈTRE COLLABORENT À L'ORGANISATION D'UNE CONFÉRENCE D'UN MOIS SUR LA MAÎTRISE DU MONDE QUANTIQUE

09

Avril
ENGAGEMENT DE **50 MILLIONS DE DOLLARS** DU GOUVERNEMENT DU CANADA POUR LA CONSTRUCTION DE LABORATOIRES, L'ACHAT D'ÉQUIPEMENT ET LE RECRUTEMENT DE PERSONNEL HAUTEMENT QUALIFIÉ

Mai
ANDREW CHILDS DÉMONTRE LA FAISABILITÉ DU CALCUL QUANTIQUE UNIVERSEL À L'AIDE DE MARCHES QUANTIQUES

Juin
1ère **ÉCOLE DE 1er CYCLE SUR LE TRAITEMENT QUANTIQUE EXPÉRIMENTAL DE L'INFORMATION** (USEQIP)

10

Août
1ère **ÉCOLE DE CRYPTOGRAPHIE QUANTIQUE POUR JEUNES ÉTUDIANTS** (QCSYS)

Janvier
UNE ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE, RÉALISÉE EN PARTENARIAT AVEC RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT POUR LA DÉFENSE CANADA (RDDC), MARQUE LE LANCEMENT DU PROJET QEYSSAT (*Quantum Encryption and Science SATellite* – SATELLITE DE CRYPTOGRAPHIE ET PHYSIQUE QUANTIQUES)

Août
JOHN WATROUS ET SES COLLABORATEURS RÉSOLVENT UNE QUESTION OUVERTE DEPUIS LONGTEMPS SUR LA THÉORIE DE LA COMPLEXITÉ : QIP=PSPACE

Septembre
L'UNIVERSITÉ DE WATERLOO ET L'IQC LANCENT LE PROGRAMME PLURIDISCIPLINAIRE D'**ÉTUDES SUPÉRIEURES EN INFORMATIQUE QUANTIQUE**

Mars
RICHARD CLEVE ET SES COLLABORATEURS MONTRENT QUE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE PERMET D'OBTENIR DES AVANTAGES SPECTACULAIRES EN MATIÈRE DE COMPLEXITÉ DES COMMUNICATIONS

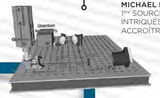
Juin
L'IQC S'AGRANDIT DANS LE BÂTIMENT RAC II DU CENTRE D'AVANCEMENT DE LA RECHERCHE, GRÂCE À UN FINANCEMENT DE **MIKE LAZARIDIS** ET **DOUG FREGIN**

Juin
DEBBIE LEUNG ET SES COLLABORATEURS MONTRENT QUE L'ON PEUT UTILISER DES ÉTATS INTRIQUÉS POUR AUGMENTER LE NOMBRE DE MESSAGES CLASSIQUES SANS ERREUR

Juin
JOSEPH EMERSON ET SON ÉQUIPE MONTRENT QUE LA CONTEXTUALITÉ EST UNE RESSOURCE NÉCESSAIRE POUR BÉNÉFICIER DES AVANTAGES DU CALCUL QUANTIQUE

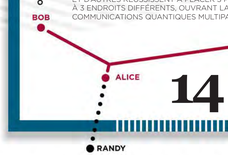
Juillet
RENOUVELLEMENT D'UN FINANCEMENT DE **25 MILLIONS DE DOLLARS** SUR 5 ANS DE LA PROVINCE DE L'ONTARIO

Septembre
MICHAEL REIMER ET D'AUTRES METTENT AU POINT LA 1ère SOURCE DE PRODUCTION SUR DEMANDE DE PHOTONS INTRIQUÉS SELON LE MOMENT D'ARRIVÉE, CE QUI POURRAIT ACCROÎTRE LA SÉCURITÉ DES COMMUNICATIONS QUANTIQUES



Septembre
RAFFI BUDAKIAN CONSTRUIT DES INSTRUMENTS DE DÉTECTION ULTRASENSIBLES, QUI PROCURENT DES MANIÈRES FONDAMENTALEMENT NOUVELLES D'OBSERVER LA NATURE

Mars
RAYMOND LAFLAMME, **THOMAS JENNEWEIN**, **KEVIN RESCH** ET D'AUTRES RÉUSSISSENT À PLACER 8 PHOTONS INTRIQUÉS À 3 ENDROITS DIFFÉRENTS, OUVRANT LA PORTE À DES COMMUNICATIONS QUANTIQUES MULTIPARTITES



14

Décembre
INAUGURATION D'UN LABORATOIRE DE MATÉRIAUX QUANTIQUES POUR LA FABRICATION DE COMPOSANTES DE DISPOSITIFS QUANTIQUES

Juillet
UNE RECENSION TECHNOLOGIQUE DU MIT DÉSIGNE L'IQC COMME UN PILIER DE L'INDUSTRIE QUANTIQUE À WATERLOO

13

Mai
GUO-XING MIAO, **DAVID CORY** ET D'AUTRES METTENT AU POINT UN OUTIL SPECTROSCOPIQUE POUR LA CHIMIE ET LA SCIENCE DES MATÉRIAUX DES PELLICULES MINCES, UTILES POUR LA CONCEPTION D'UN PROCESSEUR D'INFORMATION QUANTIQUE

Septembre
OUVERTURE OFFICIELLE DU **CENTRE QUANTUM-NANO MIKE-ET-OPHELIA-LAZARIDIS**

Août
L'ENTREPRISE **UNIVERSAL QUANTUM DEVICES, INC.**, ISSUE DE L'IQC, VEND SON 1er OUTIL MULTIFONCTIONNEL POUR LA RECHERCHE EN OPTIQUE QUANTIQUE

Juillet
LA POSTDOCTORANTE **ANNE BROADBENT** ORGANISE LA 1ère CONFÉRENCE *WOMEN IN PHYSICS CANADA* (LES FEMMES ET LA PHYSIQUE AU CANADA) EN COLLABORATION AVEC L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

11

Décembre
DMITRY PUSHIN ET **DAVID CORY** APPLIQUENT POUR LA 1ère FOIS DES TECHNIQUES D'INFORMATION QUANTIQUE À L'INTERFÉROMÉTRIE NEUTRONIQUE, CE QUI PERMET D'OBTENIR DES CAPTEURS PLUS PETITS, PLUS RAPIDES ET PLUS ROBUSTES

12

Janvier
MICHELE MOSCA ET **NORBERT LÜTKENHAUS** FONDENT **EVOLUTIONQ INC.**, ENTREPRISE SPÉCIALISÉE DANS LES STRATÉGIES DE GESTION DES RISQUES QUANTIQUES ET LES OUTILS ROBUSTES DE CYBERSÉCURITÉ

Octobre
LA SECTION ÉTUDIANTE DE L'UNIVERSITÉ DE WATERLOO DE LA SOCIÉTÉ D'OPTIQUE (OSA) INAUGURE L'EXPOSITION ***LIGHT: ILLUMINATED***

Novembre
DES RECHERCHES SPÉCIALISÉES **KYUNG SOO CHOI** PARTICIPE OUVRENT LA VOIE À LA PRÉPARATION PAR DISSIPATION D'UNE INTRICATION À N CORPS AVEC UN COMPORTEMENT MODULAIRE SANS PRÉCÉDENT

Décembre
1er ***ATELIER SCHRÖDINGER*** POUR ENSEIGNANTS EN SCIENCES

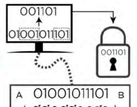
SC
Schrödinger's Class

15

Avril
PUBLICATION PAR **VERN PAULSEN** ET AL. D'UN MANUEL D'INTRODUCTION À LA THÉORIE DES ESPACES DE HILBERT À NOYAU REPRODUISANT

16

Mai
MISE AU POINT PAR LE GROUPE DE **NORBERT LÜTKENHAUS** DU 1er LOGICIEL DISPONIBLE POUR ÉVALUER LA SÉCURITÉ DE TOUT PROTOCOLE DE DISTRIBUTION QUANTIQUE DE CLÉS (DQC)



Juin
WILLIAM SLOFTSRA DIRIGE L'ÉLABORATION DE LA SOLUTION AU PROBLÈME LONGTEMPS NON RÉSOLU DE TSIRELSON, CE QUI AIDE LES MATHÉMATICIENS À COMPRENDRE LES COMPORTEMENTS POSSIBLES DE 2 SYSTÈMES SÉPARÉS DANS L'ESPACE

TQT Transformative Quantum Technologies

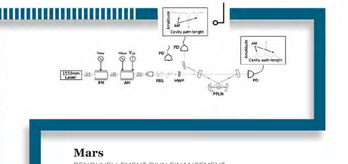
Septembre
L'IQC MÈNE LA 1ère INITIATIVE DU FONDS D'EXCELLENCE EN RECHERCHE APOGÉE CANADA À WATERLOO, QUI COMPREND LE PROGRAMME **TECHNOLOGIES QUANTIQUES TRANSFORMATRICES**

Octobre
UNE EXPÉRIENCE MISE AU POINT PAR **ADRIAN LUPASCU**, **CHRIS WILSON** ET D'AUTRES DONNE LE COUPLAGE LE PLUS FORT JAMAIS RÉALISÉ ENTRE LUMIÈRE ET MATIÈRE

Octobre
L'EXPOSITION ***QUANTUM*** EST INAUGURÉE DANS LE CADRE DU VOLET INNOVATION150 DE CANADA 150

17

Janvier
MICHAL BAJCSY ET SON ÉQUIPE PROPOSENT 2 MÉTHODES POSSIBLES DE CONSTRUCTION D'UNE CAVITÉ OPTIQUE À L'INTÉRIEUR D'UN GUIDE D'ONDES CREUX MONTÉ SUR PUCE, EN VUE DU TRAITEMENT DE L'INFORMATION QUANTIQUE AU MOYEN D'INTERACTIONS ENTRE PHOTONS



Octobre
MATTEO MARIANTONI DIRIGE LA MISE AU POINT D'UNE PRISE QUANTIQUE, NOUVELLE TECHNIQUE DE CÂBLAGE 3D CONSTITUANT UNE ÉTAPE EN VUE DE LA RÉALISATION D'UN ORDINATEUR QUANTIQUE MODULABLE

Mars
RENOUVELLEMENT D'UN FINANCEMENT DE **10 MILLIONS DE DOLLARS** DU GOUVERNEMENT DU CANADA

« LA THÉORIE FONDAMENTALE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE DÉCRIT LES RÈGLES DE FONCTIONNEMENT DE NOTRE MONDE, MAIS NOUS ESSAYONS ENCORE DE SAISIR PLEINEMENT LES CONSÉQUENCES DE CES RÈGLES. »

Les règles *quantiques*

Dans une partie d'échecs, certaines choses peuvent être prédites. Des règles simples régissent les mouvements de chaque pièce dans ce jeu de stratégie. Imaginez maintenant que vous jouez une partie d'échecs où les règles ont soudainement changé. De nouveaux mouvements sont permis et l'échiquier est beaucoup plus grand. Voilà le genre de défi que pose l'étude de l'informatique quantique. Les règles sont très différentes de celles du monde classique.

Les règles de l'information classique reposent sur notre expérience humaine quotidienne, où les objets sont dans des états définis que l'on peut déterminer complètement (du moins en principe) par l'observation.

Par contre, les règles de l'information quantique sont définies par les principes de la mécanique quantique, qui expliquent le comportement de petites entités comme les atomes, les électrons et les photons. Des objets peuvent être dans une superposition de plusieurs états, et des séquences de mouvements peuvent interférer les unes avec les autres. Par conséquent, les processus donnent souvent des résultats contre-intuitifs d'un point de vue classique.

« Si l'on sait de quoi un système quantique est capable, dit M. Cleve, cela aide à orienter l'exploration de technologies quantiques. Il y a une riche interaction entre la théorie et l'expérience dans la mise au point d'architectures de technologies quantiques. » [traduction]

Richard Cleve a créé des algorithmes quantiques — ensembles d'instructions qui régissent des systèmes de mécanique quantique — simulant l'évolution de tels systèmes. Conçus pour des ordinateurs quantiques comptant aussi peu que 50 à 100 qubits, ces algorithmes nous font progresser dans la compréhension du comportement quantique fondamental et sur la manière dont nous pouvons l'exploiter pour mettre au point de nouvelles technologies.

« La nature joue un jeu étrange », déclare **RICHARD CLEVE**, chercheur et titulaire de la chaire de calcul quantique à l'Institut d'informatique quantique (IQC). « La théorie fondamentale de la mécanique quantique décrit les règles de fonctionnement de notre monde, mais nous essayons encore de saisir pleinement les conséquences de ces règles. » [traduction]

Une révolution

La mécanique quantique ouvre de nouvelles possibilités de réalisation de technologies révolutionnaires en informatique, de même que pour les soins de santé, les communications et l'exploration géologique. Les recherches fondamentales de Richard Cleve en théorie de l'information quantique établissent certaines bases de la programmation de dispositifs quantiques.

La prochaine étape

Richard Cleve s'est joint à l'IQC en 2004. Il a été parmi les premiers alors que la communauté des chercheurs dans le domaine quantique était restreinte. Certains considéraient même que la théorie de l'information quantique constituait un sujet d'étude risqué. Mais M. Cleve et ses collègues ont adopté une vision à long terme et ont fait progresser nos connaissances de la physique quantique et de son potentiel. Le domaine évolue, mais le comportement contre-intuitif fascinant des systèmes quantiques continue d'enthousiasmer Richard Cleve en tant que chercheur. Il est prêt pour la prochaine étape.

Qubit *par* QUBIT

En théorie, l'ordinateur quantique pourrait accroître de manière exponentielle les possibilités de traitement de l'information. En pratique, aura-t-il des performances supérieures à celles d'un ordinateur classique conventionnel?

Il n'y a qu'un moyen de le savoir : construire et tester un ordinateur quantique.

La réalisation d'un ordinateur quantique combine l'exploration de la physique quantique fondamentale et le défi de la conception de nouvelles technologies. C'est la combinaison scientifique parfaite pour **MATTEO MARIANTONI**, chercheur à l'IQC et professeur au Département de physique et d'astronomie.

Dans le laboratoire de matière quantique numérique de M. Mariantoni, on étudie avec soin des bits quantiques (ou *qubits*, unités de base d'information quantique) supraconducteurs, dans l'espoir de réaliser un processeur quantique extensible.

L'avantage de la superposition

Les circuits électroniques des ordinateurs classiques se caractérisent par 2 états, notés 0 et 1. Mais, grâce à la mécanique quantique, des qubits supraconducteurs peuvent être dans une superposition d'états, à la fois 0 et 1 en même temps.

Cette capacité confère aux qubits en superposition d'états une solide puissance de traitement. L'ennui, c'est qu'il faut prendre beaucoup de précautions pour maintenir la superposition. Les états quantiques sont très fragiles et interagissent facilement avec leur environnement. Dans un circuit, l'interaction avec l'environnement fait en sorte que le qubit finit par se dégrader et passe d'un état à un autre de manière aléatoire. Par conséquent, les qubits ne peuvent pas stocker de l'information pendant longtemps. « Pour réaliser un ordinateur quantique universel, explique M. Mariantoni, il faut corriger et éliminer les erreurs dues à l'interaction et à la dégradation. » [traduction]

Un qubit logique

Pour effectuer la correction d'erreurs quantiques, M. Mariantoni et son équipe ont conçu une prise quantique. Il s'agit d'une technique de câblage 3D qui relie des circuits électroniques traditionnels à des circuits quantiques à l'aide de broches à ressort pour les qubits individuels. La prise quantique peut relier de 100 à 1 000 qubits supraconducteurs pour former un groupe appelé *qubit logique*. Un tel regroupement de qubits réduit les effets des erreurs sur les qubits individuels et rapproche le taux d'erreur de celui d'un ordinateur classique.

Liaison directe sur puce

L'équipe de Matteo Mariantoni a aussi mis au point une nouvelle technique qui aide à maintenir les qubits dans un état quantique plus stable. À l'aide d'une technique de gravure, l'équipe a sculpté un réseau de tunnels à la surface d'une plaque de silicium. Les tunnels ont un revêtement de métal et sont reliés au-dessus du circuit quantique supraconducteur. Les tunnels isolent les qubits des interférences de l'environnement telles que les champs électromagnétiques et augmentent la durée de stockage de données.

« Nous croyons que cette méthode améliorera sensiblement notre capacité à contrôler et à mesurer un qubit supraconducteur, explique M. Mariantoni. Combinée à la prise quantique, la technique de liaison directe sur puce constitue la base d'une architecture extensible d'informatique quantique. » [traduction] Le laboratoire de matière quantique numérique ouvre la voie vers la réalisation d'un ordinateur quantique universel, qubit par qubit.

« LA RÉALISATION D'UN ORDINATEUR QUANTIQUE COMBINE L'EXPLORATION DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE FONDAMENTALE ET LE DÉFI DE LA CONCEPTION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES. »

[TRADUCTION]

Mener LA PROCHAINE RÉVOLUTION *quantique*

LES ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS FONT PARTIE INTÉGRANTE DE NOTRE COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

Message du directeur du programme d'études supérieures en informatique quantique

À l'IQC, la recherche pluridisciplinaire et la collaboration entre informaticiens, ingénieurs, chimistes, mathématiciens et physiciens de premier plan fournissent un milieu scientifique à nul autre pareil. Le programme d'études supérieures en informatique quantique, créé en 2010 en partenariat avec les facultés de génie, de mathématiques et des sciences, permet aux étudiants de bénéficier de ce milieu et d'y contribuer d'une manière fondamentalement importante.

Depuis la fondation de l'IQC, 67 étudiants y ont obtenu un doctorat, et 113 un diplôme de maîtrise. Le programme d'études supérieures en informatique quantique attire chaque année des étudiants diplômés du plus haut calibre venus du monde entier, et les demandes d'admission ont augmenté de 147 % au cours des 7 dernières années.

En étudiant l'informatique quantique au moyen de projets de recherche et d'une grande variété de cours avancés, les inscrits au programme d'études supérieures en informatique quantique sont formés à une vaste gamme de disciplines et de méthodes. De plus, ils font partie intégrante de la communauté dynamique de recherche de l'IQC, y apportant souvent des contributions-clés et faisant part de leurs idées pour relever les défis actuels de la recherche. Grâce aux compétences et aux connaissances acquises dans leurs cours et leurs projets de recherche, nos étudiants continueront de participer à de nouvelles découvertes en informatique quantique et deviendront les chefs de file scientifiques de demain.

John Watrous

Directeur du programme d'études supérieures en informatique quantique

COURS

L'Université de Waterloo, en collaboration avec l'Institut d'informatique quantique (IQC), offre aux étudiants diplômés des occasions uniques de s'instruire et de participer à des recherches de pointe sur l'information quantique, grâce à une vaste gamme de projets de recherche et cours avancés sur les fondements, les applications et la mise en œuvre du traitement de l'information quantique.

Hiver 2017

QIC 750
Dispositifs de traitement de l'information quantique

QIC 823
Algorithmes quantiques

QIC 845
Systèmes quantiques ouverts

QIC 885
Électronique et photonique quantiques

QIC 890
Programmation semidéfinie en informatique quantique

Printemps 2017

QIC 891
Cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques

QIC 890
Introduction aux processus de bruit

Automne 2017

QIC 710
Traitement de l'information quantique

QIC 820
Théorie de l'information quantique

QIC 880
Nanoélectronique pour le traitement de l'information quantique

QIC 890
Dispositifs photoniques à l'état solide

QIC 890
Optique quantique moderne et nanophotonique

Vie étudiante

Les étudiants diplômés font partie intégrante de la communauté scientifique de l'IQC, au-delà de leur contribution à la recherche. L'Association des étudiants diplômés de l'IQC réunit les étudiants dans des activités sociales et autres. Des groupes tels que FemPhys, *Let's Talk Science* (Parlons science), *Waterloo Science Outreach* (Vulgarisation scientifique à Waterloo), *Engineering Science Quest* (Explorons le génie), *Women in Engineering* (Femmes en génie) et le CEMC (Centre pour l'éducation en mathématiques et informatique) sont autant d'occasions d'enrichir l'expérience de vie des étudiants.

ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS 2017

Sascha Agne
Arash Ahmadi
Shahab Akmal
Rubayet Al Maruf
Thomas Alexander
Matthew Alexander
Omar Alshehri
Julia Amoros
Matthew Amy
Vadiraj Ananthapadmanabha Rao
Elena Anisimova
Shima Bab Hadiashar
Eduardo Barrera Ramirez
Stefanie Beale
Jérémy Béjanin
Marian Berek
Emma Annelise Bergeron
Kristine Boone
Brendan Bramman
Matthew Brown
Brandon Buonacorsi
Andrew Cameron
Arnaud Carignan-Dugas
Poompong Chaiwongkhot
Christopher Chamberland
Michael Chen
Jiahui Chen
Paulina Corona Ugalde
Yutong Dai
Simon Daley
Patrick Daley
Jose de Ramon Rivera
Tina Dekker
Rahul Deshpande
Olivia Di Matteo
Zhenghao Ding
Ian Dsouza
Carolyn Earnest
Jennifer Fernick
Jeremy Flannery
Nicolas Funai
Kaveh Gharavi
Daniel Grimmer
Lane Gunderman
Aimee Gunther
Holger Haas
Guiyang Han
Laura Henderson
Ian Hincks
Taylor Hornby
Nairong Hou
Anqi Huang
Jaron Huq
Dmitri Iouchtchenko
Tyler Jackson
Samuel Jaques
Andrew Jena
David Jepson
Andrew Jordan
Shitikanth Kashyap
Hemant Katiyar
Maria Kieferova
Feyruz Kitapli
Joel Klassen
Hyeran Kong
Nikhil Kotibhaskar
Meenu Kumari
Dariusz Lasecki
Han Le
Youn Seok Lee
Jason LeGrow
Lin Li
Madelaine Liddy
Piers Lillystone
Jin Gyu Lim
Jun An Lin
Jie Lin
Xudong Liu
Li Liu
Guofei Long
Richard Lopp
David Lou
Benjamin Lovitz
Pei Jiang Low
Jean-Philippe MacLean
Shayan Majidy
Nicolas Manor
Antonio Martinez
Ashutosh Marwah
Christian Mastromattei
Morgan Mastrovich
Somendu Maurya
Michael Mazurek
Thomas McConkey
Emma McKay
Corey Rae McRae
Arthur Mehta
Denis Melanson
Maryam Mirkamali
Abel Molina
Sainath Motlakunta
Mike Nelson
Mohamad Niknam
Joachim Nsofini
Satish Pandey
Maria Papageorgiou
Tarun Patel
Connor Paul-Paddock
Helen Percival
Evan Peters
Clifford Plesha
Mats Powlowski
Jitendra Prakash
Christopher Pugh
Daniel Puzzuoli
Jason Pye
Hammam Qassim
Richard Rademacher
He Ren
John Rinehart
Nayeli Azucena Rodriguez Briones
Theodore Rogozinski
Joshua Ruebeck
Romain Ruhlmann
Vincent Russo
Allison Sachs
Shihan Sajeed
Chung Wai Sandbo Chang
Dusan Sarenac
John Schanck
David Schmid
Ala Shayeghi
Yu Shi
Jiahao Shi
Chung-You Shih
Sumit Sijher
Petar Simidzija
Sebastian Slaman
Nadine Stritzelberger
Nigar Sultana
Huichen Sun
Yongchao Tang
Ramy Tannous
Theerapat Tansuwannont
Burak Tekcan
Archana Tiwari
Sai Sreesh Venuturumilli
Guillaume Verdon-Akzam
Sebastian Verschoor
Cameron Vickers
Dhinakaran Vinayagamurthy
Sean Walker
Zimeng Wang
Chunhao Wang
Christopher Warren
Han Weng
Kyle Willick
Samuel Winnick
Ruoxuan Xu
Yihang Yang
Bowen Yang
Muhammet Yurtalan
Mohd Zeeshan
Shazhou Zhong
Yunda Zhu

POSTDOCTORANTS 2017

Razieh Annabestani
Jean-Philippe Bourgoin
Hilary Carteret
Franklin Cho
Patrick Coles
Paulina Corona Ugalde
Matthew Coudron
Javad Doliskani
Ying Dong
Michael Epping
Guanru Feng
Francois Fillion-Gourdeau
Denis Gagnon
Vlad Gheorghiu
Sandra Gibson
Mark Girard
Chris Herdman
Brendon Higgins
Sara Hosseini
Jeongwan Jin
Milad Khoshnegar
Hyun Ho Kim
Sangil Kwon
Jun Li
Ying Liu
Chang Liu
Zhe Liu
Dawei Lu
Zhihuang Luo
Filippo Miatto
George Nichols
Ibrahim Nsanzineza
Geovandro Pereira
Hao Qin
Fereshteh Rajabi
Pooya Ronagh
Mahmood Sabooni
Karthikeyan Sampath Kumar
Francois Sfigakis
Yongchao Tang
Dave Touchette
Peter Tysowski
Joel Wallman
Ben Yager
Taehyun Yoon
Hui Zhang
Pan Zheng

Félicitations

À NOS ÉTUDIANTS RÉCEMMENT DIPLÔMÉS

Razieh Annabestani
Ph.D. en physique
(Information quantique)

Hillary Dawkins
M.Sc. en physique
(Information quantique)

John Donohue
Ph.D. en physique
(Information quantique)

Edward Eaton
M.Math. en combinatoire
et optimisation

Matthew Graydon
Ph.D. en physique
(Information quantique)

Bappi Golam
M.Sc.A. en génie électrique
et informatique
(Information quantique)

Guiyang Han
M.Sc. en physique
(Information quantique)

Gregory Holloway
Ph.D. en physique
(Information quantique)

Sumeet Khatri
M.Sc. en physique
(Information quantique)

Rui Peng Liu
M.Math. en combinatoire
et optimisation

Xingliang Lou
M.Math. en combinatoire
et optimisation

Xian Ma
M.Math. en mathématiques
appliquées
(Information quantique)

Joachim Nsofini
M.Sc. en physique
(Information quantique)

Alex Parent
M.Sc. en physique
(Information quantique)

Christopher Pugh
Ph.D. en physique
(Information quantique)

Vincent Russo
Ph.D. en informatique

Allison Sachs
M.Sc. en physique
(Information quantique)

Yongchao Tang
Ph.D. en génie électrique
et informatique
(Information quantique)

Guillaume Verdon-Akzam
M.Math. en mathématiques
appliquées
(Information quantique)

Zachary Webb
Ph.D. en physique
(Information quantique)

Yang Yihang
M.Sc.A. en génie électrique
et informatique

PRIX ET DISTINCTIONS

Distinctions et subventions obtenues par des professeurs

ENTRE AUTRES :

MICHAL BAJCSY
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2015)
- Bourse de nouveau chercheur (avril 2017)

JONATHAN BAUGH
- Subvention à la découverte du CRSNG (janvier 2013)
- Fondation Gerald-Schwartz-et-Heather-Reisman (mars 2015)

KYUNG SOO CHOI
- Subvention d'outils et d'instruments de recherche du CRSNG (mars 2015)
- Bourse de nouveau chercheur (avril 2015)
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2015)

RICHARD CLEVE
- Subvention de fonctionnement du CRSNG (avril 2013)
- Bourse de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) (juillet 2013)

DAVID CORY
- Élection comme membre de la Société royale du Canada (septembre 2015)
- Élection comme membre de la Société américaine de physique (octobre 2015)
- Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (septembre 2016)

THOMAS JENNEWEIN
- Bourse de nouveau chercheur (mai 2011)
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2015)
- Minisubvention de diffusion des connaissances de la Société américaine de physique (mai 2015)
- Subvention de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada et de l'Agence spatiale canadienne (janvier 2016)

NA YOUNG KIM
- Bourse de nouveau chercheur (avril 2017)

RAYMOND LAFLAMME
- Programme d'informatique quantique de l'ICRA (juillet 2013)
- Partenariat entre Waterloo et Technion (mai 2014)
- Chaire de recherche du Canada – Niveau 1 (février 2016)
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2016)
- Prix ACP-CRM 2017 de physique théorique et mathématique (avril 2017)
- Prix pour un rendement exceptionnel en 2016 (juin 2017)
- Chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-John-von-Neumann de l'Université de Waterloo en informatique quantique (septembre 2017)

DEBBIE LEUNG
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2016)

ADRIAN LUPAŞCU
- Partenariat entre Waterloo et Technion conclu en 2014 (mai 2015)

NORBERT LÜTKENHAUS
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2012)
- Élection comme membre de la Société américaine de physique (octobre 2017)

MATTEO MARIANTONI
- Subvention du Fonds général de recherche du CRSNG (avril 2015)

GUO-XING MIAO
- Bourse de nouveau chercheur (avril 2017)

MICHELE MOSCA
- Subvention du programme FONCER du CRSNG (mars 2012)
- Fonds de l'avant-garde de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) (février 2013)
- Fonds pour la recherche en Ontario (février 2013)
- Subvention à la découverte du CRSNG (mars 2014)
- Programme d'informatique quantique de l'ICRA (juin 2014)
- Prix Fr.-Norm-Choate-C.R. pour l'ensemble de ses travaux (mai 2017)

ASHWIN NAYAK
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2014)
- Bourse canadienne du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II (janvier 2015)

Reconnaître LES EFFORTS DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE ET L'ENGAGEMENT COMMUNAUTAIRE

Félicitations à JEAN-PHILIPPE MacLEAN et DARRYL HOVING, lauréats du prix David-Johnston de rayonnement scientifique remis par l'IQC en 2016. Créé en l'honneur de Son excellence DAVID JOHNSTON, gouverneur général du Canada, ce prix est remis à des étudiants qui ont fait preuve d'un engagement exceptionnel en matière de vulgarisation scientifique et d'action communautaire.

M. MacLean a participé à l'élaboration de l'exposition *LIGHT Illuminated* (Pleins feux sur la lumière) à l'occasion de l'année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière décrétée par les Nations Unies. Il joue aussi un rôle actif dans l'organisation de l'École de 1er cycle de l'IQC sur le traitement quantique expérimental de l'information (USEQIP). M. Hoving a été récompensé pour son action prépondérante en vue d'initier des élèves du secondaire à la physique moderne, y compris l'informatique quantique.

VERN PAULSEN
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2016)

MICHAEL REIMER
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2016)
- Bourse de nouveau chercheur (avril 2017)

KEVIN RESCH
- Programme *Physics of What Happens* de l'Institut FQXi (septembre 2015)
- Subvention d'outils et d'instruments de recherche du CRSNG (mars 2016)
- Subvention à la découverte du CRSNG (avril 2017)

JOHN WATROUS
- Subventions de recherche du CRSNG (janvier 2007, avril 2014)
- Prix pour un rendement exceptionnel en 2014 (juin 2015)

CHRISTOPHER WILSON
- Prix des Centres d'excellence de l'Ontario (novembre 2015)
- Prix 2016 de la Famille Marsland (mars 2017)

Bourses d'études

Obtenues par des étudiants de l'IQC à la maîtrise et au doctorat en 2016-2017

Bourse d'études supérieures David-R.-Cheriton
TAYLOR HORNBY
LI LIU
ABEL MOLINA
DHINAKARAN VINAYAGAMURTHY

Bourse d'excellence de l'IQC
KENT FISHER
MEENU KUMARI
MICHAEL MAZUREK
CHRISTOPHER PUGH
SHIHAN SAJEED
DUSAN SARENAC

Bourse David-Johnston de l'IQC pour le rayonnement scientifique
SIMON DALEY
DARRYL HOVING
JEAN-PHILLIPE MACLEAN

Bourse d'admission de l'IQC
ANDREW CAMERON
SIMON DALEY
NICHOLAS MANOR
CLIFFORD PLESHA
NAYELI AZUCENA RODRIGUEZ BRIONES
PETAR SIMIDZJIA
GUILLAUME VERDON-AKZAM

Bourse Mike-et-Ophelia-Lazaridis – Maîtrise
EMMA BERGERON
YOUN SEOK LEE
LIN LI
MORGAN MASTROVICH

Bourse Mike-et-Ophelia-Lazaridis – Doctorat
NICHOLAS FUNAI
SARAH KAISER
MARIA KIEFEROVA
MEENU KUMARI
LI LIU
ABEL MOLINA
HAMMAM QASSIM
NAYELI AZUCENA RODRIGUEZ BRIONES
DAVID SCHMID
SUMIT SIJHER
YONGCHAO TANG

Bourse d'études supérieures Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Doctorat
MATTHEW AMY
OLIVIA DI MATTEO
JOHN DONOHUE
LAURA HENDERSON
JASON LEGROW
MICHAEL MAZUREK
CHRISTOPHER PUGH
JASON PYE
JEFFREY SALVAIL
SEAN WALKER
CHUNHAO WANG
KYLE WILLICK

Bourse d'études supérieures Alexander-Graham-Bell du CRSNG – Maîtrise
STEFANIE BEALE
KRISTINE BOONE
ANDREW CAMERON
PATRICK DALEY
HONGHAO FU
SAMUEL JAQUES
JASON LEGROW
JUNAN LIN
JASON PYE
PETAR SIMIDZIJA
RAMY TANNOUS

Bourse d'études supérieures du CRSNG – Doctorat
ARNAUD CARIGNAN-DUGAS
CHRISTOPHER CHAMBERLAND
AIMEE GUNTHER
GREG HOLLOWAY
GUILLAUME VERDON-AKZAM

Bourse d'études supérieures du Canada Vanier du CRSNG
DANIEL GRIMMER
TOMAS JOCHYM-O'CONNOR
JEAN PHILIPPE MACLEAN

Bourse d'études supérieures de l'Ontario
SHIMA BAB HADIASHAR
EDUARDO BARRERA RAMIREZ
STEFANIE BEALE
KRISTINE BOONE
HILLARY DAWKINS
KENT FISHER
JEREMY FLANNERY
TAYLOR HORNBY
DMITRI IOUCHTCHENKO
SUMEET KHATRI
DAVID LAYDEN
CHRISTIAN MASTROMATTEI
CHRISTOPHER PUGH
DANIEL PUZZUOLI
JOSHUA YOUNG

Bourse d'études supérieures du recteur
MATTHEW ALEXANDER
MATTHEW AMY
SHIMA BAB HADIASHAR
EDUARDO BARRERA RAMIREZ
STEFANIE BEALE
KRISTINE BOONE
ANDREW CAMERON
ARNAUD CARIGNAN-DUGAS
CHRISTOPHER CHAMBERLAND
PATRICK DALEY
HILLARY DAWKINS
OLIVIA DI MATTEO
JOHN DONOHUE
KENT FISHER
JEREMY FLANNERY
HONGHAO FU
DANIEL GRIMMER
AIMEE GUNTHER
LAURA HENDERSON
GREG HOLLOWAY
TAYLOR HORNBY
DMITRI IOUCHTCHENKO
SAMUEL JAQUES
SUMEET KHATRI
DAVID LAYDEN
JASON LEGROW
JUNAN LIN
CHRISTIAN MASTROMATTEI
MICHAEL MAZUREK
CHRISTOPHER PUGH
DANIEL PUZZUOLI
JASON PYE
JEFFREY SALVAIL
PETAR SIMIDZIJA
ALA SHAYEGHI
RAMY TANNOUS
GUILLAUME VERDON-AKZAM
SEAN WALKER
CHUNHAO WANG
KYLE WILLICK
JOSHUA YOUNG

Bourse du vice-recteur principal pour l'admission de femmes au doctorat
JENNIFER KATHERINE FERNICK
NAYELI AZUCENA RODRIGUEZ BRIONES
ALLISON SACHS
NADINE STRITZELBERGER

Bourse d'études supérieures Elizabeth-II en science et technologie
MATTHEW ALEXANDER
KRISTINE BOONE
MATTHEW BROWN
CHRISTOPHER CHAMBERLAND
DANIEL PUZZUOLI
ALA SHAYEGHI

Subventions d'information et de vulgarisation auprès du public
AIMEE GUNTHER

Bourse d'excellence dans les études supérieures
NAYELI AZUCENA RODRIGUEZ BRIONES

Prix du doyen de la Faculté des sciences
NAYELI AZUCENA RODRIGUEZ BRIONES

Bourse commémorative Boris-P.-Stoicheff de l'ACP et de la Fondation OSA
CHRISTOPHER PUGH

Bourse Trillium de l'Ontario
NADINE STRITZELBERGER

« C'EST TRÈS GRATIFIANT DE VOIR QUELQUE CHOSE FINALEMENT SE METTRE EN PLACE APRÈS Y AVOIR TRAVAILLÉ PENDANT SI LONGTEMPS. »

UNE DÉMARCHE *experte*

CHRISTOPHER PUGH, DOCTORANT

La physique quantique dans l'espace

L'IQC crée de nouvelles applications des technologies quantiques, notamment pour des réseaux de communications par satellite. En collaboration avec d'autres scientifiques de l'IQC, **THOMAS JENNEWEIN** agit comme chercheur principal du projet QEYSSat, qui vise la mise en place de la distribution quantique de clés à l'échelle mondiale et effectue des tests de physique quantique sur de grandes distances.

Né au Manitoba, CHRISTOPHER PUGH voulait suivre un programme d'études supérieures qui lui procurerait une formation pertinente et concrète, ainsi que l'occasion d'acquérir des compétences utiles pour une carrière en milieu universitaire ou dans l'industrie. Il a trouvé la bonne combinaison au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, où il a étudié la physique (avec spécialisation en information quantique) comme membre de l'IQC.

M. Pugh fait des recherches sur la propagation de signaux d'information quantique sur de longues distances en vue de communications quantiques sûres, plus précisément la distribution quantique de clés (DQC). La DQC fait appel aux lois de la mécanique quantique pour définir une clé commune qui soit sûre et indépendante de toute autre donnée, en supposant que les 2 parties partagent aussi un canal classique protégé. Un réseau de satellites et des clés quantiques circulant entre des satellites et des stations au sol réparties dans le monde entier permettraient de partager des clés quantiques à l'échelle planétaire.

La mission QEYSSat (*Quantum EncrYption and Science SATellite* – Satellite de cryptographie et physique quantiques) vise à produire des clés de cryptage au moyen de la création de liens quantiques entre le sol et l'espace. Christopher Pugh a commencé à participer au projet QEYSSat il y a 6 ans, au début de sa maîtrise sous la direction de **THOMAS JENNEWEIN**, membre de l'IQC et chercheur principal du projet QEYSSat.

M. Pugh a joué un rôle majeur en menant à bien un volet important de QEYSSat, à titre de responsable technique de la mise au point du système QKDR APT (*Quantum Key Distribution Receiver Acquisition, Pointing and Tracking* – Acquisition, pointage et suivi d'un récepteur de DQC), en collaboration avec des partenaires industriels, dont l'agence spatiale canadienne (ASC). « Avec l'unité de pointage de précision, a déclaré M. Pugh, nous avons réussi une DQC sur une distance plus grande qu'auparavant. Ce fut une étape cruciale du projet QEYSSat vers une future mission spatiale quantique. » [traduction]

À partir de là, les recherches de Christopher Pugh ont pris leur envol — littéralement. Il a récemment participé au succès de la transmission d'une clé quantique sûre à partir d'une source située au sol vers un prototype de récepteur quantique satellitaire placé à bord d'un avion du Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Au bout d'une semaine de tests rigoureux pour vérifier que tout l'équipement pouvait résister à un voyage en avion, M. Pugh est monté à bord de l'avion du CNRC, où il a utilisé l'unité de pointage de précision et d'autres systèmes conçus spécifiquement pour recevoir des photons et extraire une clé quantique envoyée à partir d'une source de photons au sol. « La réception des photons à bord de l'avion a été tout un événement, se rappelle M. Pugh. Ce fut un vrai travail d'équipe. C'est très gratifiant de voir quelque chose finalement se mettre en place après y avoir travaillé pendant si longtemps. » [traduction]

Pour Christopher Pugh, les récompenses vont au-delà de la recherche elle-même, puisqu'il a reçu le prix David-Johnston de rayonnement scientifique en 2013. M. Pugh participe activement à des activités de vulgarisation scientifique. Il a même co-animé le spectacle scientifique *Q-Kids* avec **ELECTRA ELEFTHERIADOU**, agente de vulgarisation scientifique. « J'ai vraiment aimé avoir l'occasion de participer à des activités de vulgarisation scientifique de l'IQC, déclare M. Pugh. Cela m'a permis d'acquérir de nouvelles compétences, de redonner quelque chose à la collectivité et de transmettre à d'autres ma passion de la science. » [traduction]

CHRONOLOGIE DU PROJET QEYSSAT

2010
Étude préliminaire de faisabilité technique, avec Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)

2011
Étude de faisabilité avec l'Agence spatiale canadienne (ASC)

2012
Conception de la charge utile technologique dans les laboratoires de l'IQC

2013
Prototypage du matériel et étude de marché, avec un financement de FedDev Ontario

2014
Fin de la mise au point du prototype de charge utile, financée par l'ASC

2015
Mise au point de la technologie du sous-système de suivi et du dispositif de détection

Démonstration de la DQC, avec échange de clés sûres d'une source stationnaire à un récepteur en mouvement

Démonstration en laboratoire réussie de la forme, de la capacité et de la fonction d'un prototype de récepteur de DQC

2016
Succès de la transmission en toute sécurité d'une clé quantique, d'une source au sol à un récepteur à bord d'un avion en vol

Conception d'une petite plateforme satellitaire réaliste contenant la charge utile du récepteur quantique

2017
Succès des tests du prototype de détecteur dans des conditions réelles

ANCIE DE L'IQC

LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE CHEFS DE FILE SCIENTIFIQUES SORT DE L'IQC AVEC LES COMPÉTENCES EN RECHERCHE ET LA PERCEPTION INTERDISCIPLINAIRE NÉCESSAIRES POUR PARCOURIR LE TERRITOIRE TOUJOURS CHANGEANT DE LA DÉCOUVERTE DANS LES MILIEUX UNIVERSITAIRE, INDUSTRIEL ET GOUVERNEMENTAL.

Sarah Sheldon,

POSTDOCTORANTE, 2013

Lors de son plus récent retour à l'IQC, l'ancienne postdoctorante **SARAH SHELDON** a animé une séance sur l'expérience quantique d'IBM, un processeur quantique par infonuagique, devant une salle pleine de participants à l'École de 1er cycle de l'IQC sur le traitement quantique expérimental de l'information (USEQIP). Mme Sheldon fait partie de l'équipe d'informatique quantique expérimentale d'IBM Research, qui travaille sur une architecture d'informatique quantique fondée sur des qubits supraconducteurs et la correction d'erreurs à l'aide d'un code de surface. Elle met au point de nouvelles techniques de calibrage et de caractérisation qui visent une meilleure compréhension des erreurs présentes dans le système quantique.

« Les recherches que j'ai effectuées à l'IQC ont été très pertinentes pour mon poste actuel chez IBM » [traduction], a déclaré Mme Sheldon. Elle a obtenu son doctorat en science et génie nucléaires à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), sous la direction de **DAVID CORY**. Sarah Sheldon a étudié la résonance magnétique nucléaire (RMN) et la résonance de spin électronique (RSE), en se concentrant surtout sur la polarisation nucléaire dynamique (DNP) et le contrôle quantique. À titre de postdoctorante à l'IQC, elle a été exposée à différentes manières d'aborder la recherche en informatique quantique, ce qui l'a motivée à choisir un groupe de recherche alliant la théorie et l'expérimentation, le génie et la science fondamentale. « L'informatique quantique est un domaine fortement interdisciplinaire. Je crois que c'est une bonne chose de faire partie d'une communauté scientifique comme celles de l'IQC ou d'IBM, formée de nombreuses personnes ayant une grande variété d'intérêts et d'antécédents. » [traduction]

Agnes Ferenczi,

Ph.D., 2013

Lorsqu'elle fait face à une difficulté, **AGNES FERENCZI** y voit une possibilité de découverte. Ses recherches portent actuellement sur l'apprentissage automatique, la réalisation de logiciels, l'expérience des utilisateurs et la mise en œuvre d'algorithmes de recherche chez Cliqz, entreprise qui produit des moteurs de recherche et des navigateurs tout en mettant l'accent sur la protection de la vie privée. Elle met à profit les outils et compétences acquis pendant ses études de doctorat sur la cryptographie quantique, qu'elle a faites à l'IQC sous la direction du chercheur **NORBERT LÜTKENHAUS**.

S'intéressant principalement aux preuves de sécurité pour les systèmes de cryptographie quantique, Agnes Ferenczi a adapté des théories quantiques afin qu'elles correspondent aux capacités actuelles d'expérimentation, comblant l'écart entre la théorie et la réalité expérimentale. Dans le cadre de son doctorat, elle a modifié le protocole à codage d'état BB84, où l'information est transmise par le truchement de la polarisation de photons. Dans ce scénario, une partie envoie 2 impulsions laser. Une impulsion reste la même, alors que l'autre faiblit, ce qui n'était pas pris en considération dans la preuve théorique initiale. « Nous adaptons la preuve pour permettre des imperfections dans l'environnement expérimental » [traduction], déclare Mme Ferenczi. Le fait de simplifier la preuve pour une mise en œuvre expérimentale a souvent pour effet de rendre le domaine plus accessible aux expérimentateurs.

Donny Cheung,

MAÎTRISE, 2002; PH.D., 2007

DONNY CHEUNG a été l'un des tout premiers étudiants diplômés à l'IQC. « La croissance de l'IQC a été spectaculaire » [traduction], dit-il. Il se rappelle l'enthousiasme qui régnait au moment de l'inauguration officielle de l'IQC en 2002, puis le déménagement dans le premier bureau aménagé pour les étudiants diplômés de l'IQC dans le bâtiment de mathématiques et informatique de l'Université de Waterloo.

Sous la direction du chercheur **MICHELE MOSCA**, M. Cheung a travaillé sur des algorithmes d'estimation d'états approximatifs, sur le problème de la non-séparabilité quantique et sur les automates cellulaires quantiques. Il a apprécié les discussions franches et ouvertes entre chercheurs sur des problèmes difficiles, de même que les idées intéressantes qui en sont ressorties. Le milieu de recherche interdisciplinaire de l'IQC l'a encouragé à élargir ses horizons tout en réfléchissant aux liens entre divers domaines scientifiques dans le monde de l'infiniment petit. Donny Cheung adopte une démarche semblable dans son poste actuel en génie logiciel chez Google, où il travaille sur l'environnement d'infonuagique de l'entreprise.

L'IQC DANS LE MONDE

DES RECHERCHES IMPORTANTES DOIVENT ÊTRE COMMUNIQUÉES À CEUX QUI LES SOUTIENNENT, AUX PERSONNES QU'ELLES FASCINENT AINSI QU'AUX GENS QUI EN BÉNÉFICIERONT ULTIMEMENT.

RAYONNEMENT *scientifique*

DES ACTIVITÉS PERCUTANTES DE DIFFUSION DES CONNAISSANCES ALIMENTENT LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE CHEFS DE FILE SCIENTIFIQUES ET FAVORISENT L'EXPLORATION INNOVATRICE ET LA DÉCOUVERTE. L'IQC AMÈNE LE MONDE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION QUANTIQUE À LA PORTÉE DES ESPRITS CURIEUX, LEUR PROCURANT DES OCCASIONS UNIQUES DE PRENDRE CONNAISSANCE DES RECHERCHES FASCINANTES QUI CHANGENT NOTRE MANIÈRE DE VIVRE, DE TRAVAILLER ET DE NOUS DIVERTIR.

EN 2017, L'IQC A ORGANISÉ :

4 conférences, notamment :

- *Women and Physics Canada* (Les femmes et la physique au Canada), du 26 au 28 juillet
- École d'été sur la distribution quantique de clés, du 21 au 25 août

4 ateliers, notamment :

- *Quantum Innovators in Computer Science and Mathematics* (Innovateurs dans le domaine quantique en informatique et mathématique) du 18 au 22 septembre
- *Quantum Innovators in Science and Engineering* (Innovateurs dans le domaine quantique en sciences et génie) du 2 au 5 octobre

42 séminaires

24 colloques

ET A COMMANDITÉ

15 ateliers et conférences ailleurs dans le monde.

Activités pour de futurs scientifiques

4 826
personnes ont participé à

91
programmes, conférences et ateliers de diffusion des connaissances sur la science et la technologie quantique. Il y a eu notamment :

2 585
élèves du secondaire

98
élèves du primaire

239
enseignants

Conférences sur le monde quantique

Conférence publique intitulée *Quantum Applications: What will a quantum device do?* (Applications quantiques : Qu'est-ce qu'un dispositif quantique va faire?)

1 551
visionnements en ligne

Série de conférences : *Women in Physics Canada* (Les femmes et la physique au Canada)

Faire connaître la recherche effectuée par des femmes et inspirer les femmes en début de carrière scientifique

8
conférences

4 232
visionnements en ligne

Diffusion en ligne

36 561
visiteurs de la page *Quantum Computing 101* (Informatique quantique 101)

1 301 458
minutes de conférences visionnées dans 200 pays

Schrödinger's Class

(Atelier Schrödinger)

FORMATION D'ENSEIGNANTS

Avec des exposés et des activités pratiques, 36 enseignants de sciences participant à l'atelier Schrödinger sont devenus étudiants à leur tour. Ils ont appris à intégrer la technologie quantique dans leur programme d'enseignement et ont acquis les outils nécessaires pour initier leurs élèves au monde quantique.

QCSYS

Quantum Cryptography School for Young Students

(École de cryptographie quantique pour jeunes étudiants)

Ce programme initie des élèves du secondaire à l'un des domaines les plus passionnants de la science contemporaine, la cryptographie quantique. Sous la direction de MARTIN LAFOREST, gestionnaire principal, diffusion des connaissances scientifiques, les participants abordent les aspects physiques et mathématiques de la mécanique et de la cryptographie quantiques, grâce à des exposés et à des démonstrations en laboratoire.

Dinah Shi, QCSYS 2012

La cryptographie, la physique quantique et leur intersection faisaient partie des nouveaux sujets auxquels **DINAH SHI** a été initiée pendant la QCSYS. Elle a été fascinée par les implications réelles de la cryptographie quantique sur la vie quotidienne : « Un algorithme quantique pourrait compromettre la sécurité de la cryptographie fondée sur la factorisation de grands nombres entiers, et cela constitue un danger. » Les chargés de cours, professeurs et étudiants diplômés ont également motivé Dinah Shi. « Ils étaient nettement passionnés par ce sujet avancé et très spécialisé. Je voudrais aussi découvrir et maîtriser un sujet technique qui m'enthousiasmerait. » [traduction]

Maintenant étudiante en 4e année de génie logiciel à l'Université de Waterloo, Danah Shi est en bonne voie de maîtriser son art. Elle prévoit utiliser ses compétences comme programmeuse dans l'industrie, pour étudier comment la technologie affecte les consommateurs et les entreprises. Elle dirige actuellement la section de Waterloo du programme *Women Who Code* (Des femmes qui programment). Ce programme incite les femmes à exceller dans des carrières technologiques en organisant des exposés, des tables rondes et des activités de réseautage. Son conseil aux futurs participants à la QCSYS : « Soyez prêts à vous instruire! » [traduction]

Depuis 2008, le programme QCSYS compte

361 anciens participants venant de **29** pays

Turner Silverthorne,

QCSYS 2015

« La QCSYS présentait la physique d'une manière très structurée » [traduction], se souvient **TURNER SILVERTHORNE**, ancien participant à ce programme. Il a immédiatement éprouvé un sentiment d'appartenance et créé des liens avec les autres participants, grâce à la passion commune pour la physique et la découverte. L'étude des mathématiques et de la physique à la QCSYS a constitué une expérience extraordinaire, semblable à celle d'une performance improvisée à la guitare. Musicien talentueux, Turner Silverthorne fait souvent des comparaisons avec la musique lorsqu'il parle de physique. « Faire de la physique, c'est comme jouer de la guitare. Tout le monde peut l'apprendre, il suffit de s'exercer. » [traduction]

Et il s'exerce énormément comme étudiant de 1er cycle en physique mathématique à l'Université de Waterloo. Son plus récent stage coopératif l'a ramené à l'IQC comme assistant de recherche de 1er cycle, où il a travaillé avec le professeur **MICHAL BAJCSY** sur l'étude de nouvelles applications de l'interaction entre lumière et matière. Il parachève actuellement la conception d'un piège à ions miniaturisé avec cavité optique intégrée. En visant un équilibre entre le confinement des photons et la stabilité du piège à ions, il recherche le milieu optimal d'interaction entre lumière et matière à l'intérieur d'un piège à ions.

43

participants à la QCSYS, venus de 10 pays, ont étudié la physique et les mathématiques de la mécanique et de la cryptographie quantiques.

96 %

C'est le taux d'augmentation des candidatures à la QCSYS depuis 2012.

USEQIP

Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing

(École de 1er cycle sur le traitement quantique expérimental de l'information)

Destiné à un groupe international d'étudiants avancés de niveau postsecondaire, ce programme de 2 semaines combine les aspects théoriques et expérimentaux de l'informatique quantique. Des exposés présentés par des professeurs de l'IQC, puis des séances pratiques en laboratoire, fournissent une introduction complète à la science et à la technologie de l'information quantique. À la fin du programme, les participants ont les outils nécessaires pour commencer à étudier l'informatique quantique.

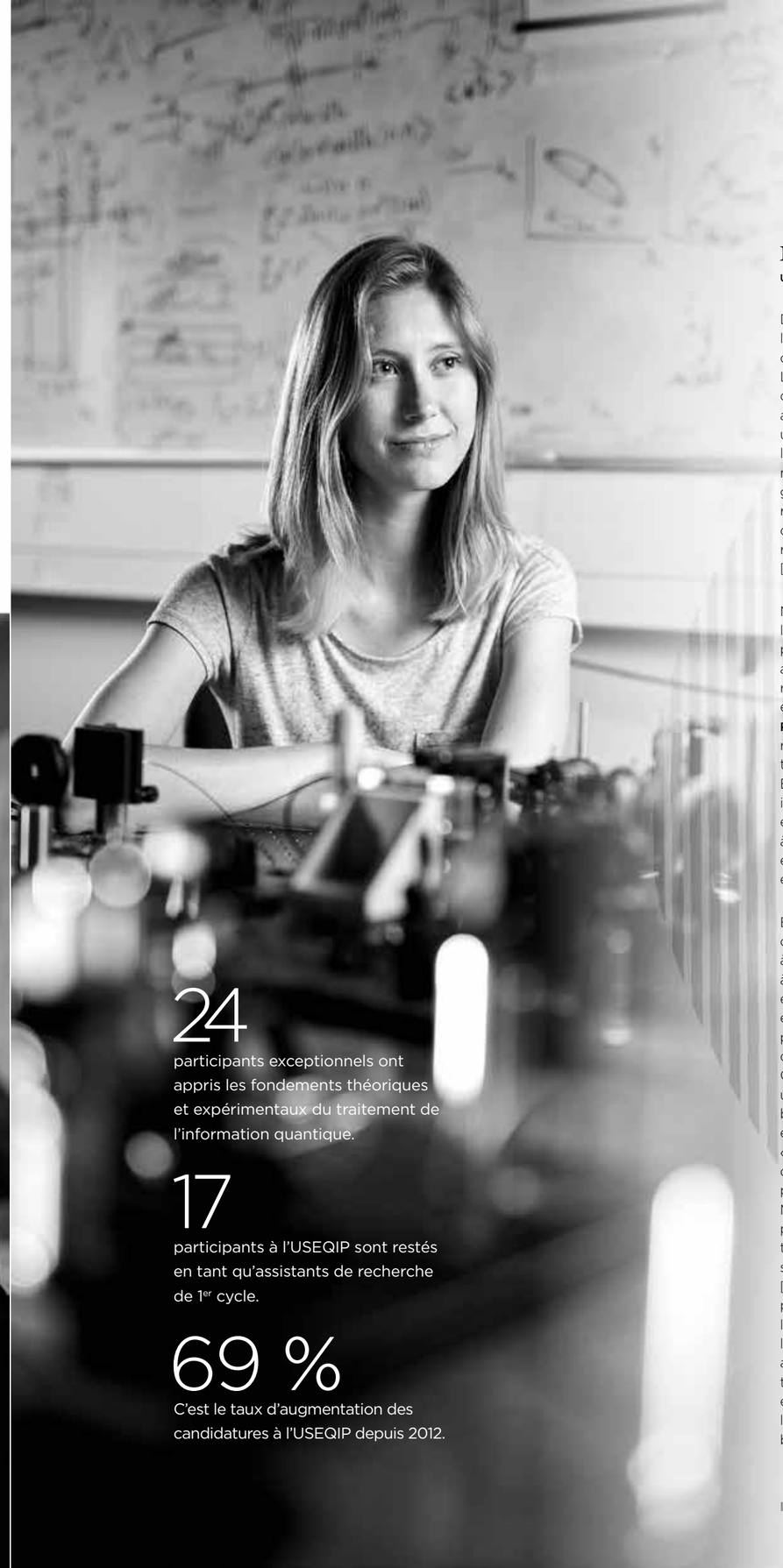
On encourage les participants à l'USEQIP à poser leur candidature au programme de bourses de recherche de 1er cycle, grâce auquel jusqu'à 30 étudiants par année peuvent vivre une expérience de recherche entièrement financée par l'IQC. Les participants passent la session d'été à travailler avec un professeur de l'IQC, ce qui les met en contact avec la réalité de la recherche dans le domaine quantique et leur permet d'expérimenter la vie d'étudiant diplômé à l'IQC. « En montrant à de jeunes étudiants la beauté et l'importance de la science et de la technologie de l'information quantique, on peut attirer de nouveaux chercheurs dans le domaine », déclare MARTIN LAFOREST, gestionnaire principal, diffusion des connaissances scientifiques, à l'IQC. « Ce sont ces étudiants qui proposeront des idées nouvelles, feront des découvertes révolutionnaires dans l'avenir et trouveront de nouvelles applications de dispositifs quantiques. » [traduction]

Thomas Alexander, USEQIP 2013

THOMAS ALEXANDER, qui a grandi sur la côte atlantique du Canada, s'est toujours intéressé aux sciences. Ce n'est qu'au cours de ses études de 1er cycle à l'Université Mount Allison, où il se spécialisait en physique, avec des mineures en informatique et en mathématiques, qu'il a découvert le domaine de l'information quantique. « J'étais attiré par l'informatique quantique parce qu'elle combinait l'informatique et ma passion pour la physique, dit-il. J'ai suivi un cours en ligne sur la théorie de l'information quantique pour en apprendre davantage. » [traduction]

Il a posé sa candidature à l'USEQIP à la suggestion d'un de ses professeurs, selon qui cette école devrait l'intéresser. Ce professeur avait raison : l'USEQIP convenait parfaitement à M. Alexander. Les cours étaient intéressants et lui plaisaient, mais il préférait réaliser des expériences concrètes en laboratoire. L'USEQIP l'a préparé au stage qu'il a ensuite effectué comme assistant de recherche de 1er cycle avec **DAVID CORY**, professeur à l'IQC, et l'ancien doctorant **CHRISTOPHER GRANADE**. Thomas Alexander a travaillé sur le matériel et le logiciel d'un système expérimental de l'IQC relié aux interféromètres neutroniques situés à l'Institut national des normes et de la technologie des États-Unis (NIST) dans l'État du Maryland. Ces travaux ont constitué le sujet de son mémoire de baccalauréat spécialisé.

Il est maintenant de retour à l'IQC comme étudiant à la maîtrise en physique et information quantique, à nouveau sous la direction de David Cory. Il agit même à titre de meneur bénévole pour le laboratoire de résonance magnétique nucléaire (RMN) à l'USEQIP. « Mon expérience à l'USEQIP m'a mené sur une trajectoire que je ne croyais pas possible à l'époque », affirme M. Alexander. À l'heure actuelle, il étudie la RMN du silicium-phosphore, système intéressant qui pourrait être utile en informatique et en détection quantiques. « Très peu d'endroits dans le monde possèdent la masse critique d'expertise en informatique quantique que l'on trouve à l'IQC. C'est le meilleur endroit pour étudier l'informatique quantique expérimentale au Canada. » [traduction]



24
participants exceptionnels ont appris les fondements théoriques et expérimentaux du traitement de l'information quantique.

17
participants à l'USEQIP sont restés en tant qu'assistants de recherche de 1er cycle.

69 %
C'est le taux d'augmentation des candidatures à l'USEQIP depuis 2012.

Morgan Mastrovich, USEQIP 2015

Du haut d'une tour, la vue est vaste; les détails peuvent être flous, mais on voit l'ensemble du paysage. L'USEQIP a été la tour quantique de **MORGAN MASTROVICH** —, qui a acquis grâce à cette expérience une vue globale du domaine de l'informatique quantique. « L'USEQIP m'a donné une formidable initiation générale au monde quantique, se rappelle-t-elle. Ce fut une excellente occasion de saisir ce domaine de recherche dans son ensemble. » [traduction]

Mme Mastrovich explore maintenant le paysage quantique de façon plus détaillée. Après l'USEQIP, elle a passé l'été comme assistante de recherche de 1er cycle, travaillant en optique quantique avec **KEVIN RESCH**, titulaire de la chaire de recherche du Canada sur les technologies de l'optique quantique. Elle a été attirée par le caractère interdisciplinaire de l'Institut, et elle est revenue l'automne dernier à l'Université de Waterloo comme étudiante à la maîtrise en physique et information quantique.

En collaboration avec le laboratoire de **MICHAEL REIMER**, professeur à l'IQC, Morgan Mastrovich travaille à la production d'états intriqués en polarisation par interférence entre photons individuels émis par une boîte quantique encastrée dans un guide d'onde à nanofil. Cette expérience vise à démontrer une application intéressante des boîtes quantiques comme source efficace de photons individuels. « L'avantage d'utiliser une boîte quantique comme source de photons individuels, explique Mme Mastrovich, est qu'elle est plus brillante que les autres sources traditionnelles et beaucoup moins susceptible de produire des paires. » [traduction] Elle admet que l'on peut facilement avoir une vision limitée lorsque l'on travaille sur les détails d'un projet, mais elle apprécie le fait qu'à l'IQC, il soit tout aussi facile d'avoir accès à des experts dans tous les domaines de la physique quantique lorsque l'on a besoin d'une nouvelle perspective.

INNOVATION150 POUR *célébrer* Canada150

En mars 2016, l'honorable MÉLANIE JOLY, ministre du Patrimoine canadien, dévoilait au Centre de la découverte d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, le projet Innovation150, doté d'un financement de près de 6 millions de dollars du gouvernement du Canada. L'astrophysicien canadien ARTHUR McDONALD, lauréat du prix Nobel de physique 2015 et ambassadeur officiel d'Innovation150, était également sur place pour accueillir les partenaires du projet : l'IQC, l'Institut Périmètre de physique théorique, Actua, la Société des musées de sciences et technologies du Canada, et l'Association canadienne des centres de sciences. Célébration interactive des idées, de l'ingéniosité et de l'innovation canadiennes, le projet Innovation150 a amené pendant toute l'année 2017 des expériences scientifiques et technologiques dans des collectivités de tout le pays à l'occasion du 150e anniversaire du Canada.

L'IQC FAIT CONNAÎTRE LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION QUANTIQUE PARTOUT AU PAYS

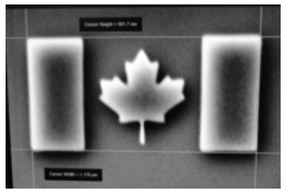
« Le 150e anniversaire du Canada est une occasion idéale de célébrer la science canadienne et de faire connaître la physique quantique aux Canadiens de tout le pays », a déclaré **TOBI DAY-HAMILTON**, Directrice adjointe, Communications et initiatives stratégiques, à l'IQC. « Les recherches qui se déroulent à l'IQC et dans d'autres instituts du pays sont trop importantes pour être confinées aux laboratoires. Des recherches extraordinaires se poursuivent chez nous, et nous voulons faire connaître ces remarquables travaux à nos concitoyens. » [traduction]

Comment fait-on pour rendre accessible à tous un domaine aussi complexe que la mécanique quantique, qui redéfinit notre compréhension de la nature? Réponse : En mettant sur pied une exposition interactive sur le sujet. L'exposition *QUANTUM* a été inaugurée à THEMUSEUM, au centre-ville de Kitchener, le 13 octobre. Les invités spéciaux ont non seulement pu visiter l'exposition avant les autres, mais ils ont vu le physicien de renommée mondiale **STEPHEN HAWKING** dans un message vidéo surprise à son ancien étudiant **RAYMOND LAFLAMME**, le félicitant de son action pour faire connaître la physique quantique dans le monde.

« Sous bien des aspects, des chercheurs canadiens président à la mise au point des nouvelles technologies quantiques qui transformeront nos vies, a expliqué M. Laflamme. Cette exposition présente ces technologies et la manière dont elles changeront inévitablement le monde. » [traduction] L'exposition a traversé le Canada en 2017, avec des arrêts à Vancouver, Calgary, Saskatoon, Ottawa et Halifax.

« Nous entendons souvent des gens dire que la physique quantique est intimidante, a déclaré Mme Day-Hamilton. Dès le début de la conception de l'exposition *QUANTUM*, nous avions pour objectif de captiver des personnes de tous âges, d'une manière amusante et originale. Nous souhaitons que tous comprennent comment les technologies quantiques transformeront leur vie. » [traduction]

Des invités spéciaux réunis lors du lancement de l'exposition *QUANTUM* le 13 octobre. De gauche à droite : **FERIDUN HAMDULLAHPUR**, recteur et vice-chancelier de l'Université de Waterloo; l'honorable **BARDISH CHAGGER**; **MARTIN LAFOREST**, gestionnaire principal, diffusion des connaissances scientifiques, à l'IQC; **RAYMOND LAFLAMME**, directeur général de l'IQC; **DAVE JAWORSKY**, maire de Waterloo; l'honorable **KIRSTY DUNCAN**; le député fédéral **RAJ SAINI**; la députée provinciale **DAIENE VERNILE**; les conseillers municipaux **ANGELA VIETH** et **JEFF HENRY**; **TOBI DAY-HAMILTON**, directrice adjointe, Communications et initiatives stratégiques, à l'IQC; le député fédéral **HAROLD ALBRECHT**.



Le plus petit drapeau national au monde parcourt le Canada dans le cadre de l'exposition *QUANTUM*. Détenteur du record du plus petit drapeau national attribué par GUINNESS WORLD RECORDS[MD], il a une longueur de 1,178 micromètre et ne peut être vu qu'au microscope électronique.

« L'EXPOSITION *QUANTUM* REND HOMMAGE À NOS CHERCHEURS ET À CE QUE NOUS AVONS ACCOMPLI JUSQU'À MAINTENANT… VOUS DÉCOUVRIREZ CE QUE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE SIGNIFIE POUR L'AVENIR DE LA TECHNOLOGIE. VOUS VERREZ QUE LES POSSIBILITÉS SONT SANS LIMITE ET QUE L'INFORMATIQUE QUANTIQUE POURRAIT VRAIMENT TRANSFORMER NOTRE MONDE. » [TRADUCTION]

Justin Trudeau, *premier ministre du Canada*

Contributions de 24 chercheurs et de 1 premier ministre

12 732 km parcourus d'un bout à l'autre du Canada en 1 an

SURVOL DE l'année : *bilan* et *perspectives*

L'ARRIÈRE-SCÈNE GROUILLE D'ACTIVITÉ. UN COUP D'ŒIL DANS LES COULISSES DE TOUTE PRODUCTION THÉÂTRALE RÉUSSIE RÉVÈLE UNE ÉQUIPE DONT CHAQUE MEMBRE CONTRIBUE AU SUCCÈS DU SPECTACLE — DÉCORS, COSTUMES, ÉCLAIRAGE, SONORISATION — SANS JAMAIS ÊTRE VU SUR SCÈNE. « L'ÉQUIPE ADMINISTRATIVE EST COMME L'ÉQUIPE TECHNIQUE D'UN SPECTACLE DE THÉÂTRE », AFFIRME **LORNA KROPF**, DIRECTRICE ADJOINTE, ADMINISTRATION. « NOUS TRAVAILLONS EN COULISSE POUR SOUTENIR LES PROFESSEURS DE L'IQC ET LEURS RECHERCHES. » [TRADUCTION]

Dans les coulisses

LORNA KROPF,
DIRECTRICE ADJOINTE, ADMINISTRATION

Lorna Kropf dirige l'équipe administrative de l'IQC depuis 9 ans. « J'ai été très enthousiasmée par la possibilité de me joindre à un jeune institut et de participer à sa croissance » [traduction], se rappelle-t-elle. Elle a mené l'équipe administrative à travers de nombreux changements tels que l'accueil de 17 nouveaux professeurs et la coordination de 2 déménagements.

Sans occuper le devant de la scène, Mme Kropf est fière des tâches cruciales accomplies pour le succès opérationnel de l'Institut. Son équipe appuie chacun des professeurs, notamment pour la gestion des comptes et la préparation des demandes de subvention. « Notre équipe vise à offrir des services exceptionnels à nos scientifiques, dit-elle, afin qu'ils puissent se consacrer à la recherche et à l'enseignement. » [traduction].

De plus, l'équipe administrative appuie plusieurs comités, s'occupe des scientifiques invités, administre le programme d'études supérieures en informatique quantique et gère les interactions avec tous ceux qui, chaque jour, rendent visite à l'Institut. « Nous représentons l'IQC, dit Mme Kropf, et nous y maintenons une culture de l'excellence. » [traduction]

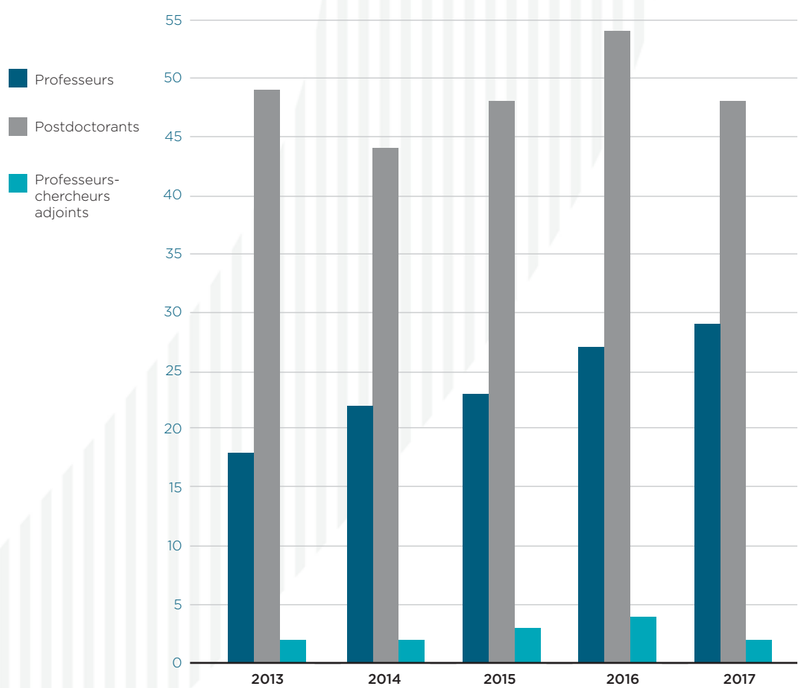
Pour ce qui est de l'avenir, Lorna Kropf est d'avis qu'une démarche proactive visant l'amélioration des processus et la mise au point d'outils simplifiant les tâches administratives permettra à l'équipe de continuer à fournir des services d'une qualité exceptionnelle. « L'équipe administrative, dit-elle, doit pouvoir s'adapter à l'évolution des besoins des chercheurs et de l'Institut, à mesure que celui-ci continue de croître. »

Elle sait comment piloter le changement à l'IQC. « Je me souviens d'avoir vu le Centre Lazaridis sous forme d'une maquette, ajoute-t-elle, et maintenant ce bâtiment est une réalité. C'est un endroit passionnant, théâtre de recherches révolutionnaires. » [traduction] En coulisse, l'équipe administrative est prête à appuyer les progrès de l'Institut.

Quelques *statistiques* 2017

L'IQC COMPTE : 29 PROFESSEURS; **48** POSTDOCTORANTS, **171** ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS, **42** SCIENTIFIQUES INVITÉS À LONG TERME ET **7** SPÉCIALISTES TECHNIQUES.

Corps professoral et postdoctorants



Publications

Des publications dignes de mention dans les revues *Nature*, *Nature Photonics, Nature Physics, Nature Communications, Physical Review Letters, Science, STOC, FOCS* et *Journal of Mathematical Physics* témoignent de découvertes importantes effectuées par les chercheurs de l'IQC et examinées par des pairs.

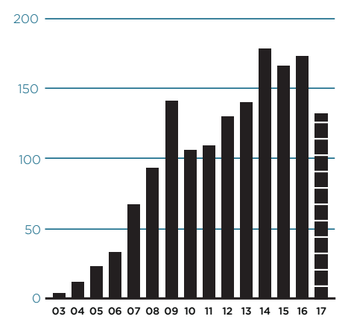
NOMBRE D'ARTICLES DE L'IQC PUBLIÉS DANS DES REVUES DE PREMIER PLAN DEPUIS 2013

PUBLICATION	2013	2014	2015	2016	2017
Nature		2	1		1
Science	1	1			
Nature Photonics	3	2		3	
Nature Physics	3		2		2
Nature Communications	1	7	2	5	3
Physical Review Letters	15	20	23	11	6
Journal of Mathematical Physics	4	5	4	5	5
FOCS		2	2	1	
STOC		1		1	
TOTAL	27	40	34	26	17

Publications par des chercheurs de l'IQC

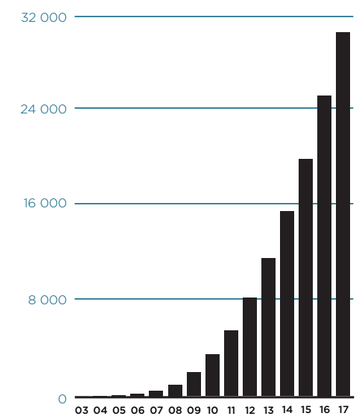
132 publications par des chercheurs de l'IQC en 2017

1 507 publications par des chercheurs de l'IQC depuis 2002



Nombre cumulatif de citations de publications de l'IQC

Total cumulatif de 30 435 citations de publications de l'IQC depuis 2002



Remarque : Source des statistiques sur les publications et les citations : Web of Science, *de Thomson Reuters, le 18 décembre 2017. Les données ont été compilées en faisant une recherche d'adresse sur l'IQC (inst* quantum comp*). Les statistiques de citations sont cumulatives pour l'ensemble des publications de l'IQC depuis sa fondation.*

DIRECTION DE L'IQC
2017

Comité de direction

George Dixon, président
Vice-recteur à la recherche

Robert E. Crow
Directeur administratif, IQC

Raymond Laflamme
Directeur général, IQC

Bob Lemieux
Doyen, Faculté des sciences

Kevin Resch
Directeur général adjoint, Enseignement, IQC

Wayne J. Parker
Doyen par intérim, Faculté de génie

Stephen Watt
Doyen, Faculté de mathématiques

Comité consultatif scientifique

Chris Monroe, président
Université du Maryland

Harry Buhrman
Centre de mathématiques et d'informatique d'Amsterdam (CWI)

Anthony Leggett
Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Umesh Vazirani
Université de la Californie à Berkeley

Anton Zeilinger
Université de Vienne

Wojciech Zurek
Laboratoire national de Los Alamos

Conseil d'administration

Mike Lazaridis, président
Cofondateur et associé directeur,
Quantum Valley Investments

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

Peter E. Brown
Associé principal, Deloitte Canada

Robert E. Crow
Directeur administratif, IQC

George Dixon
Vice-recteur à la recherche,
Université de Waterloo

Robert Dunlop
Ancien sous-ministre adjoint, Sciences
et Innovation, Industrie Canada

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

David Fransen
Ancien consul général du Canada à Los Angeles

Peter Hackett
Professeur cadre, Université de l'Alberta

Raymond Laflamme
Directeur général, IQC

Mark Pecen
PDG, Approach Infinity inc.

Haute direction

Raymond Laflamme
Directeur général

Kevin Resch
Directeur général adjoint, Enseignement

David Cory
Directeur général adjoint, Recherche

Robert E. Crow
Directeur administratif

Laboratoires

Vito Logiudice
Directeur des opérations, salle blanche Quantum NanoFab

Lino Eugene
Ingénieur spécialiste des procédés de micro et nanofabrication

Melissa Floyd
Coordonnatrice aux finances et à l'administration

Brian Goddard
Spécialiste principal, équipement de fabrication; instructeur de laboratoire

Mai-Britt Mogensen
Spécialiste, certification et inventaire de la salle blanche

Nathan Nelson-Fitzpatrick
Gestionnaire de l'ingénierie des procédés de nanofabrication et de la caractérisation

Roberto Romero
Technologue en électronique et instrumentation; coordonnateur en santé, sécurité et environnement

Rodello Salandanan
Technologue principal en équipement

Matt Scott
Technologue en équipement de fabrication; instructeur de laboratoire

Technologies quantiques transformatrices

Tracey Forrest
Directrice de programme

Sara Clark
Adjointe administrative

Peter Sprenger
Chef technicien principal, résonance magnétique

Carly Turnbull
Spécialiste du soutien à la recherche

Tarralee Weber
Comptable, projets de recherche

Technologies de l'information

Steve Weiss
Directeur adjoint, Technologies de l'information

Matt Cooper
Spécialiste, technologies de l'information

Ryan Goggin
Spécialiste, soutien informatique

Dylan Totzke
Analyste, systèmes de gestion

Administration

Lorna Kropf
Directrice adjointe, Administration

Matt Schumacher
Directeur adjoint, Finances

Jeannie Bairos
Adjointe au directeur général

Erica Boland
Réceptionniste, Centre Lazaridis

Maren Butcher
Réceptionniste, Centre Lazaridis

Andrew Dale
Coordonnateur administratif; adjoint aux finances

Monica Dey
Coordonnatrice, programme FONCER et programmes d'études supérieures

Christine Dietrich
Réceptionniste, bâtiment RAC I

Matthew Fries
Coordonnateur, séjours scientifiques

Chin Lee
Assistante, soutien à la recherche

Jessica Miranda
Coordonnatrice administrative, recrutement des postdoctorants, membres associés et membres affiliés

Jessica Parris
Coordonnatrice, programme d'études supérieures

Mary Lyn Payerl
Agente financière

Michele Roche
Coordonnatrice administrative; adjointe aux finances

Harmeny Storer
Adjointe à l'administration et aux finances

Communications et initiatives stratégiques

Tobi Day-Hamilton
Directrice adjointe, Communications et initiatives stratégiques

Electra Eleftheriadou
Agente de vulgarisation scientifique

Kathryn Fedy
Agente de communication

Dana Hociung
Coordonnatrice, relations extérieures

Kimberly Kuntz
Gestionnaire, diffusion des connaissances et activités publiques

Martin Laforest
Gestionnaire principal, diffusion des connaissances scientifiques

Scott McManus
Coordonnateur multimédia

Adele Newton
Gestionnaire, projets spéciaux

Angela Olano
Gestionnaire, projets spéciaux

Siobhan Stables
Gestionnaire principale, données de recherche

Jodi Szimanski
Gestionnaire principale, communications

UN CHEF DE FILE MONDIAL DE LA RECHERCHE EN PHYSIQUE QUANTIQUE

Message du recteur de l'Université de Waterloo

L'Université de Waterloo et l'Institut d'informatique quantique (IQC) ont des anniversaires à fêter.

Il y a 60 ans, en 1957, une université d'un genre nouveau est née dans le cœur industriel du Sud de l'Ontario. L'Université de Waterloo a été fondée sur de nouvelles idées — des programmes coopératifs, une érudition de classe mondiale et des liens étroits avec l'industrie — qui se traduiraient par des recherches et un enseignement susceptibles d'aider à résoudre les problèmes les plus complexes de notre monde.

Il y a 15 ans, en 2002, un institut d'un genre nouveau est né au cœur d'un écosystème d'innovation à Waterloo. L'IQC a été fondé sur de nouvelles idées — exploiter la mécanique quantique pour créer des technologies révolutionnaires susceptibles d'aider à résoudre aujourd'hui les problèmes de demain.

L'Université de Waterloo est d'avis que les plus grands défis de demain ne seront relevés qu'en transcendant les frontières entre disciplines, institutions, entreprises et nations. En faisant des recherches de classe mondiale. En formant une nouvelle génération de scientifiques.

Depuis sa fondation, l'IQC incarne ces objectifs et bien d'autres. L'Institut résulte d'une collaboration unique entre 3 facultés de l'Université de Waterloo — Génie, Mathématiques et Sciences. L'Institut compte bon nombre des plus grands spécialistes de l'informatique quantique au monde. Le nombre de ses professeurs, postdoctorants et étudiants augmente constamment.

J'aimerais féliciter et remercier Raymond Laflamme de son action visionnaire à titre de directeur général de l'Institut. Il a joué un rôle crucial en donnant vie à la vision que l'on pouvait avoir de l'Institut.

Ces anniversaires nous donnent une occasion magnifique de constater tout ce que nous avons accompli ensemble. L'Université de Waterloo et l'IQC rehaussent l'image du Canada comme chef de file mondial de la recherche et de la technologie en physique quantique. Nous sommes à l'avant-garde de la prochaine grande révolution technologique — la révolution quantique.

Et à respectivement 60 et 15 ans, nous ne faisons que commencer.

Feridun Hamdullahpur
RECTEUR ET VICE-CHANCELIER

Université de Waterloo

15 ans

DE DÉCOUVERTE
ET D'INNOVATION

UNIVERSITÉ DE WATERLOO | IQC Institut d'informatique Quantique