

Rapport annuel **Du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023**

**À l'intention du ministère de l'Innovation, des Sciences et du
Développement économique
31 juillet 2023**



MOT DU DIRECTEUR GÉNÉRAL

L'exercice 2023 aura été marqué par le leadership. Au sortir de son 20^e anniversaire, l'Institut d'informatique quantique (IQC), déterminé et motivé à perpétuer l'excellence de la recherche universitaire et du secteur privé dans les écosystèmes quantiques du Canada et d'ailleurs, a axé ses efforts sur le resserrement des liens, préparant ses chercheurs et ses diplômés à tracer la voie de la quantique sur la scène internationale.

Grâce à l'appui soutenu du gouvernement fédéral, l'IQC et le Canada figurent aujourd'hui au palmarès des centres de quantique mondiaux. Au cours des dernières années, l'établissement a enrichi le savoir quantique mondial de 162 articles publiés, 125 présentations et 197 collaborations internationales continues. Son programme de cycle supérieur a attiré 207 étudiants du monde entier, et sa nouvelle maîtrise avec cours en sciences des technologies quantiques – un programme conçu pour former des professionnels hautement qualifiés capables de répondre aux besoins croissants du secteur – a produit ses premiers diplômés.

L'IQC est l'assise de la quantique au Canada; son rayonnement s'étend bien au-delà de Waterloo. Ses diplômés et ses anciens membres se retrouvent dans les corps professoraux de tous les centres de recherche en quantique au pays : Colombie-Britannique, Sherbrooke, McGill, Ottawa, Toronto, Simon Fraser, McMaster, Guelph, Moncton, Carleton, Mount Allison et plus. Ils sont également bien représentés dans plusieurs universités internationales, notamment : Harvard, Université du Texas à Austin, Oxford, Université de Californie à Los Angeles, Maryland (QuICS), Tsinghua, Université nationale de Singapour, ETH Zurich, Delft, Université de technologie de Sydney et Duke. Nombre de ces anciens étudiants et chercheurs postdoctoraux ont encouragé leurs étudiants à s'inscrire à l'IQC, consolidant la réputation du Canada comme foyer des sciences et technologies avancées en matière d'informatique quantique.

Ensemble, le succès en recherche de l'IQC et l'esprit entrepreneurial de l'Université de Waterloo développent l'écosystème quantique de la région, engendrant une croissance industrielle exponentielle dans le secteur. La communauté de l'IQC est fortement impliquée auprès des entreprises en démarrage : 45 % des professeurs participent à une telle entreprise, à titre de fondateur ou autre. De nombreux stagiaires postdoctoraux, assistants de recherche et étudiants au cycle supérieur ont aussi contribué à des entreprises en démarrage du secteur, pendant leur passage à l'IQC ou après. Ces jeunes pousses causent des perturbations positives dans la région. Notamment, en mai 2022, l'une d'entre elles a obtenu sept millions de dollars en financement de série A, comptant parmi ses partenaires d'investissements l'entreprise dérivée d'Alphabet SandboxAQ. D'autres embauchent activement, attendent des approbations réglementaires ou génèrent régulièrement des propriétés intellectuelles. L'IQC a toujours fait avancer l'écosystème quantique du Canada et continuera de façonner l'avenir du paysage quantique.

En tant que directeur général, j'ai hâte de poursuivre cette démarche d'innovation collaborative avec le gouvernement du Canada. Merci pour votre soutien continu.

Cordialement,

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



Table des matières

SOMMAIRE	3
L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE	4
OBJECTIFS DE FINANCEMENT	5
<i>Objectif A</i>	<i>6</i>
<i>Objectif B</i>	<i>43</i>
<i>Objectif C</i>	<i>56</i>
<i>Objectif D</i>	<i>64</i>
<i>Objectif E</i>	<i>70</i>
Résumé	73
ANNEXES	74
<i>A. Évaluation et atténuation des risques</i>	<i>74</i>
<i>B. Publications</i>	<i>76</i>
<i>C. Professeurs, professeurs adjoints en recherche et associés de recherche</i>	<i>82</i>
<i>D. Collaborations : du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023</i>	<i>84</i>
<i>E. Stagiaires postdoctoraux</i>	<i>90</i>
<i>F. Étudiants de cycle supérieur</i>	<i>90</i>
<i>G. Présentations et participations à des conférences</i>	<i>94</i>
<i>H. Visiteurs scientifiques</i>	<i>101</i>
<i>I. États financiers</i>	<i>105</i>



SOMMAIRE

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

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

Voici quelques faits saillants de l'exercice 2022-2023 :

- Presque 29 300 000 \$ amassés en financement, pour un total cumulatif de près de 130 000 000 \$ dans les quatre dernières années
- Recrutement d'un nouveau professeur et de cinq associés de recherche
- Accueil de 13 nouveaux stagiaires postdoctoraux et reconduction des contrats de 9 autres stagiaires
- Publication de 162 articles dans des revues avec comité de lecture
- Plus de 86 000 citations cumulatives
- Présentation de 122 exposés lors de conférences et de colloques au Canada et à l'étranger, et poursuite de plus de 197 collaborations
- Réception de 558 demandes d'étudiants canadiens et étrangers aux cycles supérieurs, un nombre record
- Réception de plus de 660 prix, bourses de recherche et bourses d'études par les étudiants de cycle supérieur de l'IQC
- Tenue de 7 ateliers, 78 séminaires et 10 colloques, et commandite de 11 programmes scientifiques externes
- Accumulation de plus de 205 000 vues et 42 500 heures d'écoute sur la chaîne YouTube de l'IQC par des utilisateurs du monde entier

En collaboration avec le gouvernement du Canada et ses autres partenaires, l'IQC bâtit activement l'économie canadienne de l'informatique quantique dans la région de Waterloo. Grâce à ses infrastructures de calibre mondial et à son expertise scientifique exceptionnelle, il a pu établir le plus grand écosystème axé sur les marchés au pays pour la conception, la création et l'évaluation de services et de dispositifs d'informatique quantique. À mesure que se développent les écosystèmes quantiques de la région et du Canada, l'IQC consolidera sa réputation locale et nationale en tant que chef de file mondial des sciences et technologies quantiques.

L'INSTITUT D'INFORMATIQUE QUANTIQUE

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

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

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

Vision et mission

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

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

Objectifs stratégiques

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

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

OBJECTIFS DE FINANCEMENT

2022-2024

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

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

Grâce aux activités planifiées et entreprises par l'IQC avec l'aide du gouvernement fédéral au cours des 10 dernières, le pays se retrouve en bonne position pour tirer pleinement parti des avantages socioéconomiques de la recherche et des technologies quantiques. Les sections suivantes s'attardent aux progrès accomplis pendant l'exercice 2022-2023.

Objectif A

Promouvoir le savoir dans le domaine des sciences et technologies de l'informatique quantique.

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

Activités planifiées :

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



Publications et citations

En 2022-2023, les chercheurs de l'IQC ont collectivement publié 162 articles dans des revues avec comité de lecture. Depuis 2002, ce sont 2 765 articles¹ qui ont été ainsi publiés, y compris dans des revues scientifiques majeures, comme *Science*, les publications *Nature*, le *Journal of Mathematical Physics* et les *Physical Review Letters*. Le tableau ci-dessous résume les publications dans ces revues depuis 2016. La liste complète des articles publiés cette année se trouve à l'annexe B (page 73).

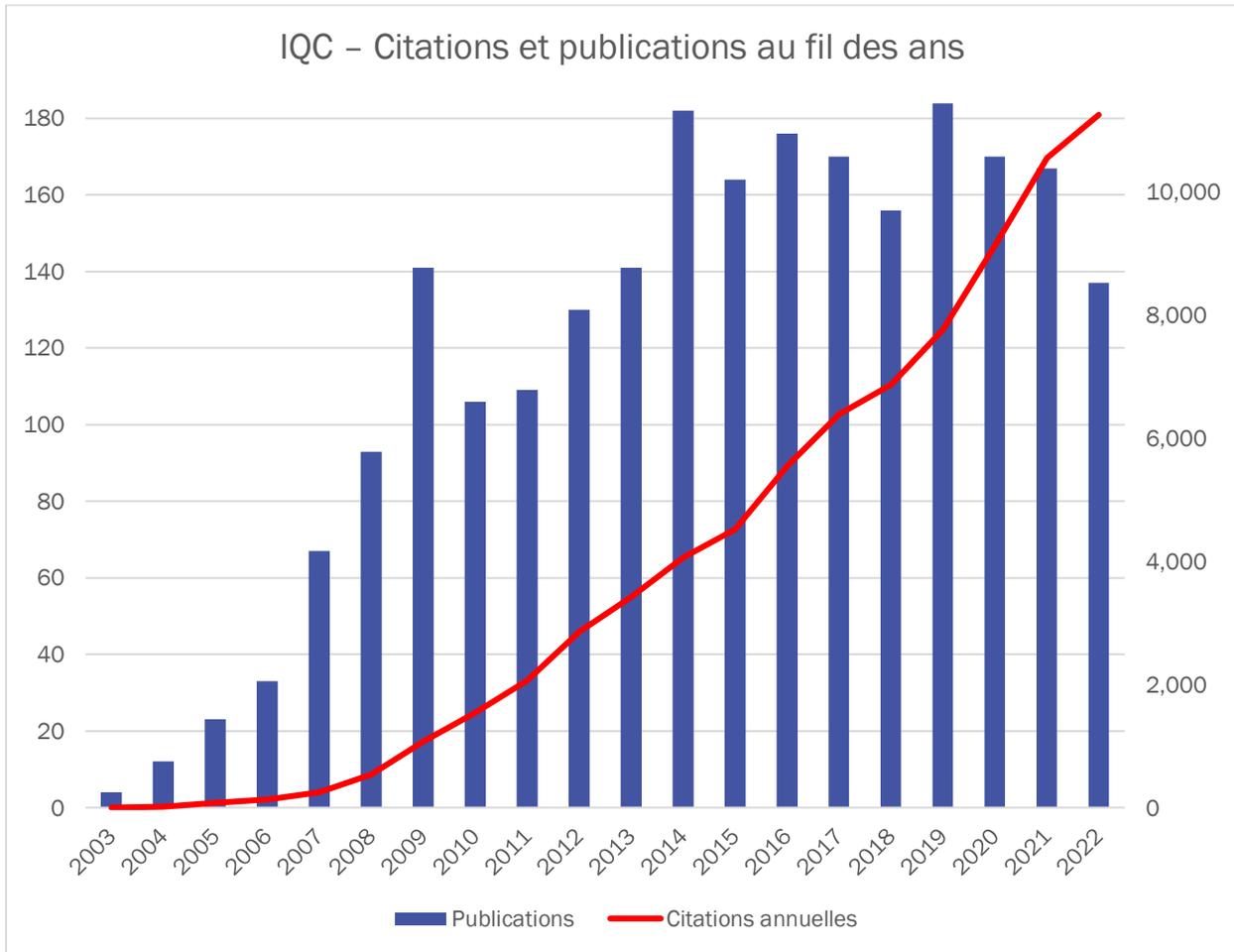
Revues majeures	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23
Publications <i>Nature</i>	9	9	4	9	12	11	9
<i>Physical Review Letters</i>	11	6	8	15	8	10	4
<i>Science</i>			1			2	
<i>Journal of Mathematical Physics</i>	3	4	5	1	3	1	2
FOCS	1			9	1		
STOC	2	1	1	1	3		1
<i>Quantum Information Processing</i>	5	10	11	11	5	7	1

Selon une analyse approfondie, 67,5 % des articles publiés par l'IQC depuis 2017 étaient le résultat d'une collaboration internationale avec des universités et des instituts de renom, comme le Massachusetts Institute of Technology (MIT), l'Université du Maryland et l'Université de technologie de Delft, ainsi qu'avec d'autres grands acteurs canadiens du domaine de la quantique, dont l'Université de Sherbrooke, l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université de Toronto. L'IQC collabore également avec des chercheurs hors des sphères universitaires, ayant notamment publié des articles avec Zapata Computing, D-Wave Systems et Microsoft Research.

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



Les citations sont un indicateur important de l'influence d'une publication. En date du 31 mars 2023, les articles publiés de l'IQC totalisaient 86 511 citations. Le graphique ci-dessous illustre la forte montée des citations, soulignant la grande valeur des travaux de l'IQC pour la recherche mondiale en quantique.



Source : Web of Science; paramètres : AD = ([Inst* Quant* Comp*] OU IQC) et AD = Waterloo + publications Scopus non indexées dans le Web of Science; paramètres : AFFIL (Inst* Quant* Comp*) ET AFFILCITY (Waterloo); années 2015 à 2022. Données extraites le 31 mars de chaque exercice.

Faits saillants de la recherche quantique : avancées des connaissances et de la compréhension

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

Qu'y a-t-il au-delà de la physique quantique?

Sur la base d'une recherche publiée dans Physical Review A le 10 mars 2022

<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.105.032204>

La physique quantique, physique de l'infiniment petit, nous aide à comprendre la nature et notre univers en expliquant et en prédisant le comportement des atomes et des molécules. Des chercheurs IQC) s'intéressent à ce qu'il y a au-delà de la physique quantique, plus précisément à la possibilité d'une théorie plus vaste qui remplacerait la physique quantique en décrivant la nature d'une manière plus complète.

En 1900, alors qu'il étudiait le rayonnement, Max Planck a observé que l'énergie pouvait se comporter d'une manière incompatible avec la physique classique. Vingt ans plus tard émergeait une vision plus complète de la matière. Fondée sur les recherches de physiciens tels que Bohr, Schrödinger et Heisenberg, cette nouvelle théorie, la physique quantique, expliquait les observations effectuées par Planck 2 décennies auparavant. Tout comme la physique quantique va au-delà des connaissances fournies par la physique classique, une nouvelle théorie, dite *postquantique*, pourrait aller au-delà de nos connaissances actuelles en physique quantique.

Dans le cadre de ses études de maîtrise à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie, Michael Grabowecky a voulu s'intéresser aux divergences possibles par rapport à la physique quantique et aux restrictions à imposer sur de nouvelles théories potentielles.

Pour mettre à l'épreuve la physique quantique au regard d'autres théories possibles, il faut adopter une démarche neutre, indépendante de toute théorie. Dans cette démarche, les données éclairent une théorie d'interprétation. L'équipe de M. Grabowecky a conçu une expérience pour recueillir une grande quantité de données sur un système à 3 degrés de liberté, puis élaborer une théorie directement à partir des données obtenues.

« Avant d'effectuer l'expérience, nous ne faisons aucune supposition sur la validité d'une théorie ou d'une autre, dit M. Grabowecky. Nous voulons faire aussi peu d'hypothèses que possible, et assurément éviter de supposer que la mécanique quantique est vraie. Ce genre d'expérience vise à laisser les statistiques et les photons parler par eux-mêmes. »
[traduction]

Pour minimiser les hypothèses expérimentales et adopter une démarche indépendante de toute théorie, l'équipe a adopté le cadre des théories probabilistes généralisées, en abrégé GPT pour *generalized probabilistic theories*. Les GPT sont des théories opérationnelles dont la physique classique et la physique quantique sont des cas particuliers. L'équipe a fait appel aux GPT parce qu'elles n'exigent que des hypothèses minimales et qu'elles permettent d'éviter des biais quantiques inhérents lorsque l'on effectue une expérience.

Un ordinateur numérique enregistre et traite l'information sous forme de bits, qui peuvent avoir la valeur 0 ou 1. Un bit quantique, ou *qubit*, peut avoir à la fois les



valeurs 0 et 1, et constitue un système à 2 degrés de liberté. Dans cette expérience, l'équipe a étudié un système où les bits ont 3 degrés de liberté plutôt que 2. L'analogie quantique d'un système à 3 degrés de liberté s'appelle un *qutrit*.

« Nous avons préparé de nombreuses manières un système à 3 degrés de liberté et nous avons chaque fois effectué un grand nombre de mesures, dit M. Grabowecky. À partir des statistiques compilées sur ces préparations et mesures aléatoires, nous avons élaboré une théorie physique décrivant notre système. » [traduction]

L'expérience a montré que la physique quantique arrive à bien décrire les données obtenues, mais qu'il pourrait y avoir une théorie plus vaste au-delà de la physique quantique. De plus, ces recherches ont permis d'établir des limites quantitatives sur la portée de divergences possibles par rapport à la physique quantique dans le cas de systèmes à 3 degrés de liberté.

Michael Grabowecky, maintenant coordonnateur du laboratoire de technologie quantique à l'IQC, est enthousiasmé par le potentiel de ces recherches. « La physique quantique réussit à décrire notre système à 3 degrés de liberté et le monde qui nous entoure, mais d'autres théories pourraient convenir. Ces travaux nous donnent de l'espace pour trouver d'autres théories qui pourraient expliquer certains phénomènes un peu mieux que la physique quantique. » [traduction]

Les données expérimentales utilisées dans ces recherches peuvent servir à tester des théories futures susceptibles de supplanter la physique quantique et de faire progresser la recherche fondamentale.

Ces recherches ont été financées en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC).

Un module de détection de photons intriqués en préparation pour la Station spatiale internationale

Basé sur une recherche publiée sur [jpl.nasa.gov](https://www.jpl.nasa.gov) le 7 mars 2022

<https://www.jpl.nasa.gov/news/space-station-to-host-self-healing-quantum-communications-tech-demo>

Un module de détection et de comptage de photons individuels (SPODECT) récemment réalisé par le laboratoire de photonique quantique de l'Université de Waterloo pour la Station spatiale internationale (SSI) servira à vérifier l'intrication quantique et à tester sa survivabilité dans l'espace, dans le cadre de la [mission SEAQUE](#) (*Space Entanglement and Annealing QUantum Experiment* – Expérience quantique d'intrication et de recuit dans l'espace), menée en collaboration avec des chercheurs de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, du *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) d'ADVR inc. et de l'Université nationale de Singapour.



Le module SPODECT de Waterloo est unique en son genre puisqu'il comprendra 4 détecteurs de photons individuels, un détecteur de coïncidences à plusieurs canaux, de même qu'un microcontrôleur de gestion de son fonctionnement et de comptage de photons, le tout dans un format très compact. Le projet de Waterloo est mené par l'associée de recherche Joanna Krynski, sous la direction de Thomas Jennewein, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie. Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un partenariat entre le laboratoire de photonique quantique, Excelitas inc. (Canada), qui a fourni les photodiodes à avalanche au silicium, et Dotfast Consulting (Autriche), qui a fourni le dispositif interne de détection de coïncidences.

Mise en œuvre dans la foulée du [projet CAPSat](#) (*Cool Annealing Payload Satellite – Satellite sympa de recuit*), qui effectue en orbite des mesures et le recuit de détecteurs de photons individuels au silicium, SEAQUE constitue la toute première expérience quantique menée dans l'espace qui intègre une source de paires de photons intriqués faisant appel à un cristal guide d'ondes optique. Ce type de cristal offre une efficacité de production de paires de photons supérieure à celle de cristaux ordinaires. La conception avant-gardiste de SEAQUE comporte en outre un laser brillant pour remédier plusieurs fois aux dommages d'irradiation, entre les rondes de détection des photons produits par la source d'intrication. Ce processus, dit de *recuit optique*, contribuera à diminuer l'augmentation dans le détecteur du bruit dû aux rayonnements, [sans exiger un refroidissement extrême comme auparavant](#).

« Ce nouveau module de détection constitue une étape vers la réalisation d'une technologie de communication quantique moins coûteuse et moins complexe que les systèmes conventionnels, a déclaré M^{me} Krynski. Notre expérience déterminera la viabilité de cette nouvelle méthode et son éventuelle utilité pour de futurs réseaux satellitaires d'information quantique. » [traduction]

« La mission SEAQUE fera la démonstration d'une source innovatrice et efficace de paires de photons, ainsi que d'un système personnalisé de détection de photons individuels, qui pourraient faire partie de nœuds d'un réseau d'intrication quantique dans l'espace, a déclaré M. Jennewein. Le principal avantage de cette distribution d'intrication dans l'espace réside dans la capacité de transmettre de l'information quantique sur des distances beaucoup plus grandes qu'avec une structure exclusivement terrestre, étant donné que, dans l'espace, les signaux évitent les limites dues aux obstacles ou aux milieux absorbants. » [traduction]

L'un des défis les plus stimulants de ce projet a été de faire entrer tout le matériel nécessaire au module SEAQUE dans les dimensions spécifiées par le partenaire commercial Nanoracks — une boîte de seulement 30 cm × 20 cm × 10 cm —, dont le module SPODECT de Waterloo ne peut occuper qu'une petite fraction. De plus, les composants choisis doivent survivre aux turbulences du lancement, aux températures extrêmes et aux rayonnements présents dans l'espace.



La mission SEAQUE sera lancée au début de l'an prochain à bord du vol NG-19 et sera installée dans le module Bishop Airlock de la SSI. Visionnez l'[enregistrement](#) du lancement de CAPSat en octobre 2021.

L'équipe de l'Université de Waterloo remercie l'Agence spatiale canadienne (programme VITES) de son soutien financier.

Étudier la complexité des propriétés thermiques

Sur la base d'une recherche publiée dans Nature Physics le 6 octobre 2022

<https://www.nature.com/articles/s41567-022-01742-5>

La complexité algorithmique est un domaine de l'informatique qui vise à connaître les ressources nécessaires pour résoudre des problèmes de calcul. [Anirban Chowdhury](#) et [David Gosset](#), chercheurs à l'IQC, collaborent avec Sergueï Bravyi et Pavel Wocjan, chercheurs chez IBM, à l'étude des liens passionnants entre la complexité algorithmique et la physique des systèmes quantiques à N corps.

Ils étudient la complexité algorithmique de l'approximation d'une grandeur appelée *fonction de séparation quantique*. Cette grandeur contient toute l'information sur des variables telles que l'énergie et la magnétisation, pour tout ensemble donné de particules quantiques interagissant avec son milieu sans transfert de chaleur, état appelé *équilibre thermique*.

« Une fonction de séparation est comme un passe-partout qui donne accès aux propriétés d'un équilibre thermique », dit M. Chowdhury, boursier postdoctoral à l'IQC ainsi qu'au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo. « Une fois qu'on connaît la fonction de séparation, on connaît ou on peut calculer rapidement presque toutes les autres propriétés du système. » [traduction]

On sait déjà que le problème du calcul exact d'une fonction de séparation est extraordinairement difficile. Dans leurs plus récents travaux, MM. Chowdhury et Gosset se sont donc attachés à comprendre si le problème est plus facile lorsque l'on recherche plutôt une bonne approximation.

« En informatique, pour connaître le degré de difficulté d'un problème, on commence par montrer qu'il est équivalent à un autre problème que l'on comprend mieux », dit M. Gosset, professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo. « Nous avons constaté que l'approximation d'une fonction de séparation est d'une complexité équivalente à celle de plusieurs autres problèmes, que l'on peut appeler *problèmes de calcul approximatif*. Ceux-ci visent à calculer une approximation d'une certaine grandeur quantique. » [traduction]

En établissant une équivalence entre ces problèmes de calcul, MM. Gosset et Chowdhury contribuent à une meilleure compréhension non seulement des algorithmes

d'approximation de fonctions de séparation, mais aussi de toute cette classe de problèmes complexes.

Leurs recherches ont également donné un nouvel algorithme efficace d'approximation de la fonction de séparation quantique dans un sous-ensemble précis de cas, dits *hamiltoniens de densité locale*, où chaque particule interagit avec pratiquement toutes les autres. Enfin, les chercheurs ont apporté des améliorations à des algorithmes classiques et quantiques existants pour la fonction de séparation de systèmes quantiques généraux interagissant localement. Même si ces algorithmes ont dans le pire des cas un temps de calcul exponentiel, il est néanmoins intéressant de diminuer les ressources nécessaires pour en améliorer la performance.

« Nous espérons que d'autres scientifiques pourront pousser plus loin les progrès que nous avons réalisés grâce à ces recherches, dit M. Chowdhury. Nous pourrions alors peut-être connaître avec précision la classe de complexité algorithmique qui caractérise la difficulté du problème de l'approximation d'une fonction de séparation. » [traduction]

L'article a été publié par Chowdhury et Gosset de l'IQC avec leurs collaborateurs Sergey Bravyi et Pawel Wocjan du centre de recherche Thomas J. Watson d'IBM. Ces recherches ont été financées par une subvention du Bureau de la recherche de l'armée des États-Unis.

Des chercheurs inventent un procédé simple pour ajouter des ponts surélevés sur des micropuces

Sur la base d'une recherche publiée dans Applied Physics Letters le 29 août 2022

<https://pubs.aip.org/aip/apl/article/121/9/094001/2834098/Aluminum-air-bridges-for-superconducting-quantum>

Des chercheurs de l'IQC ont inventé un nouveau procédé en une seule étape pour construire de minuscules ponts sur des micropuces portant des circuits supraconducteurs essentiels pour les futurs ordinateurs quantiques à supraconducteurs.

À l'heure actuelle, on considère que les circuits supraconducteurs font partie des candidats les plus prometteurs pour le stockage d'information dans les futurs ordinateurs quantiques. Ces circuits pourraient avoir une capacité de traitement permettant de réaliser des percées dans la résolution de problèmes complexes — p. ex. la conception de médicaments — qui demandent trop de temps de calcul avec les ordinateurs actuels.

Ces minuscules ponts surélevés servent à créer des circuits complexes, car ils permettent d'effectuer des croisements et atténuent la perte d'information dans des circuits supraconducteurs montés sur des micropuces.

« Notre nouvelle méthode permet de construire des ponts surélevés solides en une seule étape de modelage par lithographie », a déclaré l'auteur principal de l'article, [Noah Janzen](#), doctorant à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et



d'astronomie. « Par rapport aux procédés existants de fabrication de ponts surélevés, le recours à un procédé en une seule étape permet de réduire sensiblement le temps, les coûts et la quantité de matériaux nécessaires pour créer ces structures. » [traduction]

Ces ponts sont minuscules : une largeur de 6 μm , plus de 10 fois plus petite que l'épaisseur d'un cheveu; une longueur de 20 à 100 μm (l'épaisseur d'un cheveu, pour les ponts les plus longs). Ces ponts améliorent la qualité des dispositifs montés sur des micropuces, en diminuant les effets de détérioration des propriétés quantiques, appelée *décohérence quantique*, des courants supraconducteurs.

Pour fabriquer un tel pont surélevé, l'équipe de chercheurs a mis une couche d'un polymère sur la micropuce, puis a créé un modèle 3D du pont en le gravant dans la couche de polymère à l'aide d'un faisceau d'électrons, par un procédé dit de *lithographie par faisceau d'électrons*. Une fine couche d'aluminium a ensuite été déposée sur le modèle de polymère, puis ce dernier a été retiré, ne laissant que le pont d'aluminium surélevé. Le personnel de soutien de [l'Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques](#) et la qualité de l'infrastructure de cette installation ont joué un rôle essentiel dans cette réussite.

Les ponts surélevés constituent un ingrédient important pour améliorer la qualité des puces supraconductrices, en plus de faire passer de 2 dimensions à 3 dimensions les possibilités de conception de circuits sur ces puces. Avec ce procédé nouveau et simple de création de ponts surélevés, les chercheurs peuvent créer des micropuces et dispositifs plus complexes.

« Ce nouveau procédé nous a déjà permis de mettre au point un dispositif inédit pour l'étude de sujets fondamentaux dans le domaine de l'information quantique », a déclaré [Adrian Lupascu](#), professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie à l'Université de Waterloo. « Nous nous attendons à ce que ce procédé soit utile pour de nombreux autres travaux dans le domaine. » [traduction]

L'article a fait partie de la sélection du rédacteur en chef.

L'IRM subatomique pourrait mener à de nouvelles thérapies médicamenteuses

Sur la base d'une recherche publiée dans Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America le 26 septembre 2022

<https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2209213119>

Selon une étude récente, une nouvelle technique d'imagerie qui fait appel à la physique quantique pourrait mener à de nouvelles thérapies médicamenteuses et à de nouvelles options de traitement.

Des chercheurs de l'Université de Waterloo, soutenus par Technologies quantiques transformatrices, ont démontré que la diffraction par résonance magnétique nucléaire (dRMN) permet d'étudier la structure réticulaire de solides cristallins à l'échelle



atomique, exploit qui n'était jusqu'alors possible que pour des applications d'imagerie à plus grande échelle telle que l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

« La dRMN a été proposée en 1973 comme méthode d'étude de la structure de matériaux », a déclaré l'un des principaux auteurs de l'étude, Holger Haas, Ph.D., ancien de l'Institut d'informatique quantique (IQC) à Waterloo, maintenant chez IBM. « À l'époque, les auteurs ont écarté cette idée, la croyant ridicule. Nos travaux sont très près de réaliser leur idée folle : nous avons montré qu'il est possible d'étudier des structures à l'échelle atomique sur des échantillons dont le volume est pertinent pour de nombreux systèmes biologiques et physiques.

« La dRMN ouvre une formidable variété de possibilités de recherche, y compris l'étude de nanocristaux et de composés organiques » [traduction], a ajouté M. Haas. La capacité de produire des images à l'échelle atomique de structures biologiques, par exemple des molécules de protéines et des particules virales, peut faire progresser la compréhension de leur fonctionnement et potentiellement mener à de nouvelles thérapies médicamenteuses et à de nouvelles options de traitement.

La dRMN exploite une propriété des noyaux atomiques appelée *spin*, une unité fondamentale du magnétisme. En raison de ce spin, les noyaux se comportent essentiellement comme des aimants lorsqu'ils sont plongés dans un champ magnétique. Un champ magnétique variable dans le temps peut perturber les spins en modifiant leur angle — ou, en termes techniques, en codant une phase dans chaque spin. À un moment particulier du codage, tous les spins reviennent à leur direction initiale. Lorsque cela se produit, on observe un écho de diffraction, signal que l'on peut mesurer pour trouver la constante de réseau et la forme de l'échantillon. Chaque noyau produit un signal qui lui est propre, ce qui permet de discerner la structure de la molécule.

Le défi de la RMN à l'échelle atomique venait de la difficulté à coder à l'échelle atomique de grandes différences de phase relatives entre spins nucléaires voisins, de sorte que l'on ne pouvait pas observer un écho de diffraction. Les chercheurs ont surmonté cette limitation en utilisant des techniques de contrôle quantique et en produisant d'importants gradients de champ magnétique en fonction du temps. Cela leur a permis de coder et détecter la modulation à l'échelle atomique dans un ensemble de 2 millions de spins, ainsi que de mesurer avec une précision atomique le déplacement de l'ensemble des spins dans un échantillon.

Ces travaux représentent un progrès substantiel dans l'établissement de la RMN à l'échelle atomique comme outil d'étude de la structure des matériaux.

Sahand Tabatabaei, coresponsable de l'étude et doctorant à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, ajoute : « Maintenant que nous sommes sur le point de pouvoir faire une dRMN à l'échelle atomique d'une structure réticulaire, nous pouvons aussi commencer à étudier à l'échelle atomique des phénomènes plus fondamentaux, par exemple le transport



quantique et la physique de systèmes quantiques à N corps, ce qui n'a jamais été fait auparavant sur des échantillons de cette taille. » [traduction]

L'étude a été cosignée par Haas, Tabatabaei, le Dr William Rose, le Dr Pardis Sahafi, le Dr Michèle Piscitelli, Andrew Jordan, Pritam Priyadarsi, Namanish Singh, le Dr Ben Yager, le Dr Philip J. Poole, le Dr Dan Dalacu et le Dr Raffi Budakian. Ces recherches ont été financées en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada.

Utiliser le désordre pour trouver de nouvelles voies de transition magnétique

Sur la base d'une recherche publiée dans Physical Review B le 29 septembre 2022
<https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.106.094435>

Une équipe de chercheurs de l'IQC a trouvé une nouvelle voie réglable pour manipuler des structures magnétiques nanométriques appelées *skyrmions*. Les citations de cet article sont traduites de propos tenus en anglais par Melissa Henderson et Dmitry Pushin.

Cela constitue un progrès vers l'accès à différentes configurations de ces structures et vers une meilleure stabilité pour des applications de mémoire magnétique, par exemple en vue d'utiliser ces structures comme de nouveaux types de bits dans des ordinateurs classiques ou quantiques.

Un skyrmion est une minuscule structure présente dans certains cristaux magnétiques. Il est formé par l'alignement collectif des moments magnétiques d'atomes individuels produisant un tourbillon à une échelle sensiblement plus grande que l'échelle atomique. De tels tourbillons créent des structures magnétiques tubulaires tridimensionnelles, semblables à des tornades nanométriques, qui se rassemblent pour former des treillis en triangles ou carrés composés de multiples tourbillons. Ces skyrmions et ces treillis peuvent être mesurés et réglés par des champs magnétiques ou des courants externes.

« Beaucoup de recherches ont été effectuées auparavant sur des skyrmions dans des systèmes monocristallins idéaux vraiment purs », déclare Melissa Henderson, doctorante à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. « On admet généralement que le nombre total de skyrmions dans un échantillon, aussi appelé sa *charge topologique*, est conservé lors d'une restructuration. Nous avons découvert que ce n'est pas le cas dans des cristaux comportant un désordre cristallin et chimique substantiel, ce qui se traduit par certaines propriétés et phénomènes vraiment intéressants. »

L'équipe, qui comprend des collaborateurs de l'Université McMaster et de l'Institut national des normes et de la technologie des États-Unis (NIST), a introduit du désordre dans son matériau cristallin en cultivant un matériau présentant des variations dans l'occupation des sites atomiques, et ce par l'incorporation d'atomes de cobalt, de manganèse ou de zinc dans le motif cristallin répétitif. Ce désordre perturbe les



skyrmions habituellement rectilignes pour créer un labyrinthe de motifs en zigzag qui fusionnent, se terminent ou se séparent dans le cristal.

À l'aide d'une source de chaleur et de rotations du champ magnétique, tout en mesurant la diffusion de neutrons aux petits angles, les chercheurs ont chauffé l'échantillon pour créer des skyrmions désordonnés. Dans certaines expériences, les chercheurs ont ensuite fait tourner les échantillons dans le champ magnétique afin de réorienter les skyrmions dans un motif ordonné de treillis en triangles. À partir de ces états ordonnés ou désordonnés, les chercheurs ont ensuite commencé à refroidir le matériau.

« Lorsque l'on refroidit le matériau au-delà d'un certain point, dit M^{me} Henderson, on sort de l'état d'équilibre thermique pour atteindre un état métastable où le degré d'ordre des skyrmions dépend du degré d'ordre dans la phase initiale d'équilibre thermique. Lorsque l'on continue de refroidir davantage, les paramètres d'échange sont modifiés plus substantiellement, altérant les rapports, grandeurs et directions des interactions. Cela provoque une transition vers une structure de treillis en carrés, de sorte que l'on passe d'un motif en triangles à un motif en carrés.

« On croyait auparavant que dans des échantillons désordonnés, le désordre pourrait empêcher la transition de triangles à carrés. C'est pour cela que ce que nous avons observé est surprenant. Nous avons observé une transition d'un état désordonné à un état ordonné, où le degré d'ordre augmente effectivement avec le passage de l'état désordonné en triangles à l'état en carrés. Cela n'est possible que par un changement de topologie du système. »

Auparavant, cette transition dans les treillis de skyrmions n'a été observée que de treillis ordonnés en triangles à des treillis ordonnés en carrés dans des systèmes massifs. Les chercheurs ont découvert une voie supplémentaire de transition d'états désordonnés en triangles à états ordonnés en carrés, ce qui suppose une modification du nombre de skyrmions présents, contrairement à l'opinion antérieure selon laquelle le nombre de skyrmions devait demeurer constant pendant les transitions d'état.

Pendant toute la phase métastable, les chercheurs ont montré l'existence de conséquences supplémentaires du désordre, où les skyrmions ont un effet mémoire persistant. Au cours de la phase métastable, les skyrmions sont détruits puis restaurés, et l'on croit qu'ils passent par des structures appelées *tores magnétiques* — minuscules filaments de skyrmion qui conservent leur charge topologique.

« Les transitions entre états ordonnés et désordonnés ont toujours fasciné les gens en général, et les physiciens en particulier », dit [Dmitry Pushin, Ph.D.](#), professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo.
« Nous pouvons maintenant étudier *in situ* de telles transitions, où la topologie d'un état quantique joue un rôle important et pourrait permettre de faire progresser les dispositifs d'électronique de spin. »

Un nouvel aimant bidimensionnel exotique pourrait être prometteur pour l'informatique quantique



Sur la base d'une recherche publiée dans Nature Materials le 17 novembre 2022
<https://www.nature.com/articles/s41563-022-01401-3>

À l'avant-garde de la physique de la matière condensée, on étudie des matériaux aux propriétés quantiques nouvelles, intéressantes autant pour la science fondamentale que pour leurs applications possibles en technologie quantique. Adam Wei Tsen, Ph.D., professeur à l'IQC et au Département de chimie de l'Université de Waterloo, plonge dans ce domaine avec son équipe, en se concentrant particulièrement sur les matériaux quantiques bidimensionnels (2D). Les citations de cet article sont traduites de propos tenus en anglais par M. Tsen.

L'équipe de M. Tsen étudie l'évolution des propriétés magnétiques de la forme alpha du chlorure de ruthénium (α -RuCl₃) dans des échantillons dont l'épaisseur approche la limite 2D d'une seule couche atomique. À l'échelle atomique, chaque électron est caractérisé par une grandeur appelée *spin*, qui donne lieu à diverses propriétés magnétiques en fonction des interactions entre spins d'électrons voisins. Ces interactions peuvent en outre être très différentes selon que l'échantillon du matériau comporte une seule couche atomique ou se présente sous la forme massive 3D de plusieurs couches empilées. L'équipe de M. Tsen est la première à étudier les propriétés magnétiques de α -RuCl₃ sous la forme d'une seule couche atomique.

Sous sa forme massive, α -RuCl₃ présente une interaction caractéristique entre spins voisins, appelée *interaction de Kitaev*, du nom du physicien russo-américain Alexei Kitaev. Celui-ci a prouvé mathématiquement que lorsqu'il s'agit de la seule interaction magnétique dans un matériau 2D ayant une structure en forme de peigne, les spins sont intriqués et existent dans un état semblable à l'état liquide, même à des températures extrêmement basses. Si l'on peut trouver un matériau 2D où l'interaction de Kitaev est plus importante que toutes les autres interactions entre spins, cela pourrait avoir des applications dans le traitement de l'information quantique.

Contrairement aux prédictions théoriques, dans des matériaux réels, l'interaction de Kitaev est toujours en concurrence avec d'autres interactions ordinaires entre spins, de sorte qu'il faut prendre beaucoup de précautions pour régler les propriétés magnétiques. L'équipe de M. Tsen a étudié l'effet de différentes épaisseurs de l'échantillon sur les propriétés magnétiques de α -RuCl₃.

« Quand un échantillon de α -RuCl₃ a des couches ayant une structure en peigne, dit M. Tsen, on peut isoler assez facilement un feuillet de ces matériaux ne comportant qu'une seule couche atomique. Cela permet d'étudier ce matériau quantique sous une forme qui se rapproche davantage du modèle proposé par Kitaev. »

Dans ces expériences, Bowen Yang, postdoctorant à l'IQC sous la direction de M. Tsen, a utilisé la géométrie d'un dispositif nanométrique employé en électronique de spin et appelé *jonction tunnel magnétique*, dont on se sert dans la technologie actuelle de mémoire de stockage. De fines couches de α -RuCl₃ ont été isolées en sandwich entre 2 matériaux conducteurs. En examinant comment les électrons circulaient en tunnel dans le α -RuCl₃, M. Yang a pu mesurer directement les ondes de spin parcourant la



couche monoatomique. Les chercheurs ont constaté que, contrairement à ce qui se passe dans un cristal 3D, le champ magnétique nécessaire pour polariser les spins de l'échantillon 2D était plus faible dans la direction perpendiculaire à la couche atomique de structure hexagonale que dans le plan de celle-ci.

Les collaborateurs de l'équipe à l'Université du Michigan ont examiné attentivement par diffraction électronique la structure du α -RuCl₃ monocouche. Ils ont constaté plusieurs différences de structure par rapport au cristal 3D. Des théoriciens de l'Université Goethe de Francfort et de l'Université de Wake Forest ont ensuite calculé les interactions magnétiques dans cette structure 2D. Ils ont réussi à expliquer l'effet différent du champ magnétique, en plus de découvrir que l'interaction de Kitaev était sensiblement accrue. Toutes ces constatations mettent en lumière l'importance du nombre de dimensions dans le réglage des propriétés de matériaux magnétiques et montrent que le α -RuCl₃ monocouche peut être plus utile pour des applications d'informatique quantique que son pendant 3D.

D'autre part, la théorie prédit qu'un champ magnétique perpendiculaire peut produire un état de liquide de spin même lorsque le système n'est pas un liquide de spin au départ. « Ce que l'on sait à propos du cristal 3D, dit M. Tsen, c'est qu'il faut un champ magnétique extrêmement intense d'environ 35 teslas, peu accessible à la plupart des équipes, pour le faire sortir de son état fondamental. Mais, dans le cas d'une couche monoatomique, un champ magnétique beaucoup moins intense, de seulement 6 teslas, suffit à faire sortir le α -RuCl₃ de son état fondamental, ce qui pourrait être très prometteur pour l'avenir. »

L'article intitulé [*Magnetic anisotropy reversal driven by structural symmetry-breaking in monolayer \$\alpha\$ -RuCl₃*](#) (Inversion d'anisotropie magnétique due à une rupture de la symétrie structurale dans α -RuCl₃ monocouche) a été publié par Bowen Yang, Fangchu Chen, Adam W. Tsen et leurs collaborateurs. [M. Yang a récemment reçu un prix d'excellence de l'IQC](#) pour ses travaux. Ces recherches ont été financées en partie par le Bureau de la recherche de l'Armée des États-Unis, ainsi que par Technologies quantiques transformatrices, de l'Université de Waterloo.

Un nouvel outil quantique mis au point grâce à une réussite expérimentale révolutionnaire

Sur la base d'une recherche publiée dans Science Advances le 18 novembre 2022

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.add2002>

Des scientifiques recréent des propriétés de la lumière dans des neutrons, particules fondamentales neutres.

Pour la première fois dans l'histoire de l'expérimentation, des chercheurs de l'IQC ont créé un dispositif qui produit des neutrons torsadés ayant un moment angulaire orbital bien défini. Autrefois considéré comme impossible, cet exploit scientifique révolutionnaire ouvre aux chercheurs une toute nouvelle avenue pour le développement de matériaux quantiques de la prochaine génération, avec des applications allant du



calcul quantique à la définition et à la résolution de nouveaux problèmes de physique fondamentale.

« À cause de plusieurs propriétés qui les distinguent, les neutrons constituent un puissant outil de caractérisation de nouveaux matériaux quantiques », a déclaré Dusan Sarenac, Ph.D., associé de recherche à l'IQC et responsable technique chez Technologies quantiques transformatrices (TQT), à l'Université de Waterloo. « Ils ont des longueurs d'onde nanométriques, sont électriquement neutres et ont une masse relativement importante. Grâce à ces propriétés, les neutrons peuvent passer à travers des matériaux que les rayons X et la lumière ne peuvent pas traverser. »

Alors que les méthodes de production expérimentale et d'analyse d'un moment angulaire orbital sont bien connues dans le cas des photons et des électrons, on n'avait pas encore fait la démonstration d'un dispositif utilisant des neutrons. Étant donné les caractéristiques distinctives des neutrons, les chercheurs ont dû fabriquer de nouveaux dispositifs et élaborer de nouvelles méthodes de travail avec les neutrons.

Dans leurs expériences, Dmitry Pushin, Ph.D., professeur à l'IQC ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, et son équipe ont fabriqué en silicium des réseaux de diffraction microscopiques ressemblant à des fourchettes. Ces dispositifs sont si minuscules qu'une région de seulement 0,5 cm par 0,5 cm contient plus de 6 millions de ces réseaux de dislocation de phase. Lorsqu'un faisceau de neutrons traverse un tel dispositif, les neutrons individuels adoptent une trajectoire en tire-bouchon. À l'aide d'une caméra neutronique spéciale, les chercheurs ont capté une image des neutrons au bout d'une trajectoire de 19 mètres. Ils ont observé que chaque neutron donnait une signature semblable à un beigne de 10 cm de diamètre.

Cette signature en forme de beigne montre que chacun des neutrons a été placé dans un état hélicoïdal particulier et que les dispositifs de diffraction de l'équipe ont produit des faisceaux de neutrons ayant un moment angulaire orbital quantifié, ce qui n'avait jamais été réalisé auparavant.

« Les neutrons sont souvent utilisés pour des vérifications expérimentales en physique fondamentale, grâce à leurs 3 degrés de liberté facilement accessibles : le spin, la trajectoire et l'énergie, dit M. Pushin. Ces expériences de notre équipe ont permis d'utiliser le moment angulaire orbital dans des faisceaux neutroniques, ce qui fournit essentiellement un degré de liberté supplémentaire quantifié. Cela nous permet de mettre au point des outils de caractérisation et d'étude de matériaux complexes qui seront nécessaires pour la prochaine génération d'appareils tels que des simulateurs quantiques et des ordinateurs quantiques. »

L'article intitulé [*Experimental Realization of Neutron Helical Waves*](#) (Réalisation expérimentale d'ondes hélicoïdales neutroniques), de MM. Sarenac et Pushin, avec leurs collaborateurs de l'Université de Waterloo, de l'Institut national des normes et de la technologie des États-Unis, et du Laboratoire national d'Oak Ridge, a été récemment publié dans la revue *Science Advances*. Ces recherches ont été financées par TQT,



initiative du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada. Les dispositifs expérimentaux ont été créés dans l'Installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques (QNFCF), à l'Université de Waterloo.

Étudier l'impact des propriétés de bruit d'un laser sur des qubits

Basé sur une recherche publiée dansnpj Quantum Information le 27 juin 2022

<https://www.nature.com/articles/s41534-022-00586-4>

Lorsque Matthew Day, associé de recherche à l'Institut d'informatique quantique (IQC), a vu son laboratoire temporairement fermé pendant la pandémie de COVID-19, il s'est trouvé quelque peu dérouté. Que peut faire un expérimentateur sans son équipement? M. Day a saisi cette occasion pour étudier des questions auxquelles il pensait depuis un certain temps. Plus précisément, il voulait savoir comment l'équipement d'un laboratoire affecte les expériences. Les citations de cet article sont traduites de propos qu'il a tenus en anglais.

M. Day a entrepris d'examiner comment les propriétés de bruit d'un laser affectent le contrôle de qubits dans le laboratoire d'ions piégés de Crystal Senko. Avec plusieurs autres chercheurs, il a étudié la structure propre du bruit d'un laser et élaboré un algorithme qui détermine quand une source laser stabilisée est optimisée pour le contrôle quantique de qubits atomiques. Dans le cas d'un laser, le bruit consiste en des fluctuations aléatoires de la lumière émise.

« Si l'on diminue le bruit du laser de contrôle, dit-il, est-ce que cela signifie qu'il risque de moins affecter notre travail? Est-ce possible? La réponse est oui. »

M. Day, qui avait une formation de théoricien, a créé avec ses collaborateurs un outil permettant de savoir quand un laser n'affecte pas une expérience. Il a fait remarquer qu'il s'agit d'une métrique nouvelle, puisque la plupart des chercheurs se concentrent sur la largeur des raies de leurs lasers et de ses effets sur les expériences. Par contre, ce nouvel algorithme donne de l'information sur la qualité du laser utilisé.

« Faut-il acheter un laser meilleur ou différent pour une expérience donnée? demande M. Day. Cet outil vous le dira. Les fabricants de lasers et les universitaires verront l'intérêt de répondre à cette question. »

Matthew Day a mis à l'épreuve l'algorithme en laboratoire, mais il a l'impression que cet outil sera également utile aux chercheurs dans le domaine quantique qui se servent de sources de micro-ondes.

« Les gens savent que c'est un problème, dit M. Day. Mais personne n'a pris le temps de s'en occuper. » Il est heureux que le temps d'arrêt dû à la pandémie de COVID-19 lui ait permis de se concentrer sur cette question, car il croit que cela l'aidera à obtenir de meilleurs résultats expérimentaux en laboratoire.

« Nous butons sur des limites dans nos laboratoires et dans les tests de la capacité de nos équipements, fait-il remarquer. Nous devons comprendre les erreurs qui

déterminent ces limites et comment ces erreurs dépendent de la qualité des équipements. »

Alors qu'il envisageait à l'origine de travailler comme théoricien de la gravitation quantique, Matthew Day a découvert pendant ses études qu'il aimait contribuer de manière utile aux recherches sur les qubits contrôlés à l'aide de lasers. Les scientifiques, qu'ils soient expérimentateurs ou théoriciens, ont besoin de comprendre les deux volets de la recherche, et c'est ce à quoi s'emploie M. Day dans ses travaux. Le milieu de collaboration de l'IQC lui rappelle ce qu'il a vécu à l'Université de Bristol, où il a obtenu son doctorat et connu pour la première fois ce type de recherche en collaboration.

M. Day croit que le genre de travaux dont il est question ici peut aider à comprendre l'importance de prendre en considération la conception des lasers afin que ceux-ci soient vraiment utiles pour les expériences effectuées. De retour dans son laboratoire, M. Day cherche à mettre au point des sources laser miniaturisées à l'aide de circuits photoniques intégrés dans des matériaux à bandes interdites ultralarges. Il espère toutefois que d'autres chercheurs adopteront son outil et continueront de tester ses théories dans de nouveaux environnements tels que des portes à 2 qubits. Il a créé un protocole sur la manière de procéder. Selon lui, la partie passionnante de la recherche dans le domaine quantique consiste à contribuer à motiver ses collègues à atteindre le prochain niveau dans leurs travaux.

Ce projet est financé en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC), par l'intermédiaire du programme [Technologies quantiques transformatrices](#).

Un nouveau matériau absorbant la lumière améliorera l'imagerie oculaire et la surveillance des doses de médicaments contre le cancer

Sur la base d'une recherche publiée dans Scientific Reports le 11 juin 2022

<https://www.nature.com/articles/s41598-022-13537-y>

La création d'un matériau absorbant la plus grande partie sinon la totalité de la lumière améliorerait l'efficacité d'équipements médicaux. [Michael Reimer](#), professeur à l'Institut d'informatique quantique ainsi que chercheur en génie électrique et informatique à l'Université de Waterloo, a entrepris de créer un matériau composite artificiel, ou *métamatériau*, ayant exactement cette propriété. M. Reimer et son équipe de chercheurs ont atteint leur objectif et mis au point une nouvelle classe de matériaux qui absorbent la lumière mieux que tout ce qui existait auparavant. Les citations de cet article sont traduites de propos tenus en anglais par M. Reimer et Sasan V. Grayli.

« Cette découverte aura des répercussions importantes dans le cas de longueurs d'ondes utilisées pour la surveillance des doses de médicaments utilisés pour le traitement de cancers, a déclaré M. Reimer, de même que pour les télécommunications, pour le domaine de la défense et pour la tomographie par cohérence optique permettant de détecter plus tôt des maladies oculaires. »



L'équipe de M. Reimer comprend : le postdoctorant [Sasan V. Grayli](#); le doctorant [Brad van Kasteren](#), auteur de la conception et de la modélisation numérique du matériau; le doctorant [Burak Tekcan](#), qui a travaillé dans l'[installation de fabrication et caractérisation nanométriques quantiques](#) de Waterloo pour fabriquer des nanofils ayant une forme aussi voisine que possible de celle des nanostructures employées dans la modélisation. L'équipe a également collaboré avec le professeur [Zbig Wasilewski](#), du Département de génie électrique et informatique, qui a réalisé le matériau semiconducteur de grande qualité utilisé pour fabriquer les nanofils. Ensemble, ces chercheurs ont mis au point une nouvelle catégorie de métamatériaux capables d'absorber plus de 99 % de la lumière. Grâce à une conception soignée de la forme et de l'espacement des nanofils, l'équipe a démontré la capacité de ces métamatériaux à absorber la lumière dans une gamme étendue de longueurs d'onde.

« Nous avons montré que le travail expérimental est en accord avec la théorie que nous avons élaborée pour expliquer les caractéristiques d'absorption du réseau de nanofils, a déclaré M. Grayli. Il vaut la peine de souligner que nous avons pu mesurer une efficacité d'absorption de 93 % dans une région inédite du spectre, de 900 nm à 1 650 nm. »

Maintenant que l'équipe de M. Reimer a créé ce nouveau matériau, la prochaine étape consiste à l'incorporer dans divers dispositifs. Le premier que son équipe tente de construire est un détecteur capable de mesurer une seule particule de lumière, c'est-à-dire un photon individuel. L'objectif à plus long terme est de fabriquer une caméra sensible à des photons individuels pour l'imagerie oculaire.

« Ce qui est bien à propos de ces nouveaux détecteurs — comme le détecteur de photons individuels —, dit M. Reimer, c'est que dans l'infrarouge proche, les détecteurs portatifs actuels à base de semiconducteurs ont une efficacité de seulement 25 %. Comme nous pouvons maintenant absorber plus de 90 % de la lumière, cela améliorera sensiblement l'efficacité des détecteurs pour les applications en question. »

Actuellement, dans le contexte de la santé oculaire, pour atteindre une grande efficacité de surveillance et de détection à l'extérieur du spectre visible, il faut des détecteurs formés de nanofils supraconducteurs qui transportent des charges électriques sans résistance à l'échelle nanométrique. La portabilité et la facilité d'utilisation de ces détecteurs sont toujours limitées par la nécessité de les refroidir à 3 kelvins. À l'opposé, les détecteurs à semiconducteurs, y compris ceux sur lesquels travaille M. Reimer, sont portables, et le projet actuel consiste à mettre au point un nouveau photodétecteur à semiconducteurs plus efficace que tout ce que l'on a réussi jusqu'à maintenant. Les photodétecteurs précédents à base de silicium et d'alliage utilisés en imagerie oculaire ont une efficacité limitée dans les longueurs d'onde allant de 800 nm et 1 000 nm, aussi appelées « la vallée de la mort ». Le nouveau matériau absorbant davantage de lumière apportera des avantages pour les applications fonctionnant dans la gamme de longueurs d'onde allant de 900 nm à 1 650 nm.



Dans cette expérience, les chercheurs ont éclairé le nouveau métamatériau avec une source lumineuse à large spectre. En mesurant la quantité de lumière réfléchie et la quantité de lumière transmise par ce matériau, ils ont pu en déduire la quantité de lumière absorbée. Les nanofils agissent essentiellement comme des guides d'ondes dirigeant la lumière, mais si l'on dispose avec soin les nanofils en réseau, la partie de la lumière qui n'est pas absorbée par un nanofil donné peut être recueillie par les nanofils voisins, ce qui entraîne une absorption de plus de 90 % de la lumière incidente. Une grande partie du travail a consisté à concevoir la forme des nanofils de telle sorte qu'ils n'agissent plus comme un matériau volumineux reflétant une grande quantité de lumière, mais qu'en raison de leur espacement ils constituent un mécanisme permettant une meilleure absorption.

M. Reimer croit que ce nouveau matériau capable d'une meilleure absorption de la lumière aura des répercussions importantes dans les domaines des soins de santé et des télécommunications. Pour revenir au travail de recherche, M. Reimer concentre maintenant son attention sur la surface des nanofils, afin d'éviter que de faux signaux indésirables atteignant le détecteur ne se manifestent à l'échelle des photons individuels. Michael Reimer cherche des manières de traiter la surface des nanofils afin de diminuer le niveau de bruit dû au métamatériau tout en conservant ses caractéristiques de grande absorption dans la gamme de longueurs d'onde voulue. Son équipe est maintenant plus proche d'une technologie hautement efficace qui aidera à détecter des signes précoces de cécité et à doser des médicaments utilisés pour le traitement de cancers.

Ces recherches ont été financées en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, par l'intermédiaire du programme [Technologies quantiques transformatrices \(TQT\)](#).

Rendre les futurs ordinateurs quantiques moins vulnérables aux erreurs

Basé sur la recherche publiée dans PRX Quantum le 1er août 2022

<https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/PRXQuantum.3.030322>
[Alongside research](#)

Les citations de cet article sont traduites de propos tenus en anglais par Debbie Leung et Theerapat Tansuwannont.

Que se passe-t-il lorsqu'un ordinateur fait une « coquille » ou une erreur au niveau le plus fondamental — lorsqu'un 0 devient accidentellement un 1? Dans un ordinateur classique, on peut avoir recours à la répétition des signaux binaires pour le rendre insensible à de telles défaillances.

Par contre, ce procédé de répétition ne peut s'appliquer aux ordinateurs quantiques, en raison des principes fondamentaux de la mécanique quantique. La même propriété qui promet d'assurer la sécurité des communications quantiques — l'impossibilité de mesurer ou de copier des particules quantiques sans les altérer — rend également les



futurs ordinateurs quantiques plus susceptibles de commettre des erreurs, et rend ces erreurs plus difficiles à détecter et à corriger.

Pendant ses études de doctorat à l'IQC, Theerapat Tansuwannont, Ph.D., a travaillé avec [Debbie Leung](#), Ph.D., professeure à l'IQC ainsi qu'au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo, à mettre au point de nouvelles techniques permettant de corriger des erreurs quantiques sans introduire de nouvelles erreurs dans les qubits codés d'origine.

« Afin de corriger des erreurs, dit M^{me} Leung, on ajoute des qubits auxiliaires pour recueillir de l'information sur les erreurs quantiques sans mesurer les qubits codés d'origine. Mais si un qubit de donnée ou un qubit auxiliaire est erroné, il est un peu comme un virus qui peut se propager à de multiples qubits de données ou qubits auxiliaires. Nous sommes donc à la recherche de nouvelles méthodes permettant de corriger des erreurs et de faire des calculs sans propager d'erreurs, propriété appelée *tolérance aux défaillances*. Traditionnellement, cela exige beaucoup de qubits auxiliaires. Notre objectif principal est de réduire le nombre de qubits auxiliaires nécessaires pour avoir un système insensible aux défaillances. »

Comme l'ordinateur quantique est encore à venir, les théoriciens qui travaillent sur les méthodes de correction d'erreurs adoptent une grande variété de démarches, afin que des méthodes ou codes de correction d'erreurs soient disponibles et adaptés aux exigences et limites précises des dispositifs quantiques à venir.

Dans leur plus récent article, M. Tansuwannont et M^{me} Leung rapportent qu'ils ont réuni différentes méthodes existantes de correction d'erreurs pour créer une nouvelle technique faisant appel, au total, à moins de qubits auxiliaires. Ils ont combiné une méthode d'indicateurs, qui utilise des qubits auxiliaires secondaires pour identifier les erreurs dans les qubits secondaires, et une méthode de parité de poids, qui consiste à combiner les erreurs qui ont le même effet global et à les corriger de la même façon, peu importe que ces erreurs soient très différentes les unes des autres.

Cette combinaison a donné naissance à une nouvelle famille de codes, appelés *codes de couleur limités*, ainsi qu'à leur extension appelée *codes de couleur limités récursifs*. L'ajout de la limite permet aux chercheurs d'appliquer dans ce jeu de codes les méthodes d'indicateurs et de parité de poids.

« Les codes de couleur limités récursifs font appel à la moitié du nombre de qubits par rapport aux codes de couleur, pour des propriétés semblables de tolérance aux défaillances, dit M. Tansuwannont. La réduction du nombre de qubits est importante, car elle nous rapproche du nombre de qubits que les expérimentateurs peuvent fabriquer et avec lesquels ils sont capables de travailler aujourd'hui. »

Au total, les travaux de M. Tansuwannont et M^{me} Leung consistent à mettre au point un certain nombre de codes et de circuits menant à un ensemble de protocoles insensibles aux défaillances pour la correction d'erreurs quantiques. Leurs recherches montrent que la quantité de ressources de calcul nécessaires et le coût de la correction d'erreurs peuvent être sensiblement réduits. Grâce à leurs efforts, les chercheurs sont plus près de



comblent l'écart entre la théorie et les travaux expérimentaux en vue de la réalisation d'un ordinateur quantique.

« D'un point de vue théorique, dit M. Tansuwannont, nous voulons concevoir un protocole ayant un seuil élevé de correction d'erreurs. Quant aux expérimentateurs, ils veulent mettre au point un matériel ayant de faibles taux d'erreur. Lorsque la technologie des qubits aura atteint un point où le taux d'erreurs physique se situe en dessous du seuil de nos méthodes de correction d'erreurs, on pourra espérer qu'un ordinateur quantique puisse être construit. »

Une nouvelle découverte pourrait changer la donne dans le contrôle des réactions chimiques

Sur la base d'une recherche publiée dans *Nature* le 1er février 2023

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-05635-8#Ack1>

Des fréquences de résonance inattendues ont été observées dans les réactions entre deux molécules

Une nouvelle étude parue aujourd'hui dans la revue *Nature* fait une révélation qui change notre compréhension des réactions chimiques et renverse les modèles théoriques antérieurs : on a observé une fréquence de résonance inattendue durant une réaction entre deux molécules.

(La résonance, c'est lorsqu'un objet qui vibre à la même fréquence naturelle qu'un second objet force ce dernier à entrer en vibration.)

Il s'agit d'une découverte sans précédent, car c'est la première fois qu'on observe une résonance entre deux molécules ultrafroides, une occasion exceptionnelle pour les chercheurs de mieux saisir et contrôler les molécules qui composent notre univers.

« La résonance a lieu lorsque les vibrations d'une certaine fréquence sont amplifiées de manière préférentielle. Par exemple, lorsque la corde d'un piano est frappée par le marteau, elle se met à vibrer à une fréquence précise déterminée par sa longueur et sa grosseur, émettant une note de musique qui lui est propre, explique Alan Jamison de l'IQC et du Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Des résonances semblables surviennent chez les atomes, où des fréquences d'énergie très précises génèrent une réaction plus forte que ce qui était modélisé dans les systèmes chimiques. »

Cette réaction de résonance que l'on pensait impossible, M. Jamison et ses collaborateurs du Massachusetts Institute for Technology (MIT) l'ont observée dans une réaction chimique entre deux molécules ultrafroides. En refroidissant des molécules de sodium-lithium à une température proche du zéro absolu, l'équipe a été capable de contrôler les réactions au niveau quantique. Sans un tel contrôle, la résonance inhabituelle serait passée inaperçue.



« En apparence simples, ces systèmes recèlent encore d'étonnantes complexités – Schrödinger a conçu son équation il y a plus de 100 ans, mais nous n'arrivons toujours pas à la résoudre dans un système à quatre atomes, poursuit le chercheur. Nous sommes en train de repousser les frontières de notre compréhension de la dynamique quantique complexe. »

L'équipe de recherche a sondé l'état de transition à quatre atomes avec un champ magnétique sur un spectre de plus d'un million de milligauss (unité de mesure de l'intensité d'un champ magnétique). Dans la zone sondée, l'intervalle de fréquences de résonance découverte était de seulement 25 milligauss.

« C'est comme chercher une aiguille dans une botte de foin, estime le professeur du MIT Wolfgang Ketterle. Lorsque le champ magnétique a été réglé à cette fréquence exacte, la réaction chimique s'est accélérée de façon marquée. »

La découverte de ces résonances promet de futures applications dans le contrôle des réactions chimiques. Par exemple, une augmentation de la résonance pourrait un jour canaliser une réaction chimique ou favoriser la formation d'un produit souhaité qui serait plus difficile à fabriquer sous des conditions de non-résonance, ouvrant ainsi une nouvelle avenue et ajoutant un nouvel outil d'investigation pour guider les réactions moléculaires.

De la théorie à la réalité : la nouvelle expérience de scientifiques de l'IQC

Sur la base d'une recherche publiée dans Physical Letters Review le 13 mars 2023

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.130.110801>

Des particules nanométriques à l'immensité de l'espace, l'énergie est partout dans l'Univers. La mécanique quantique postule que le vide comme celui que l'on trouve dans l'espace extra-atmosphérique ne serait pas *vraiment* vide; en effet, à l'échelle microscopique, on y observe des variations d'énergie spontanées. On peut le voir comme une mer de particules qui « apparaîtrait et disparaîtrait » brièvement, générant des régions aux densités d'énergie positives et négatives. En tout et partout, ces variations font en sorte que le vide demeure à l'état énergétique le plus faible possible : l'énergie au zéro absolu.

Or en théorie, dans des conditions bien précises, le traitement de l'information quantique et les outils de la thermodynamique quantique pourraient se révéler utiles pour l'extraction localisée d'énergie au zéro absolu du vide quantique. Les scientifiques de l'Institut d'informatique quantique ont mis en œuvre la première expérience qui recourt à l'intrication quantique comme ressource pour l'activation de l'énergie au zéro absolu du vide.

L'équipe réunit Raymond Laflamme, professeur de l'IQC et du Département de physique et astronomie de l'Université de Waterloo, Eduardo Martín-Martínez, associé de l'Institut et professeur au Département de mathématiques appliquées, ainsi que Nayeli Rodríguez-Briones et Hemant Katiyar, deux nouveaux diplômés de l'Institut et



du Département de physique et d'astronomie qui travaillent aujourd'hui à l'Université de Californie, Berkeley et à IonQ Canada, respectivement. Ensemble, les scientifiques ont procédé à des expériences sur les effets de l'intrication entre les particules pour l'extraction d'énergie du vide.

Le concept d'extraction localisée d'énergie au zéro absolu a d'abord été proposé en 2008 par Masahiro Hotta, à qui l'on doit le protocole de téléportation quantique. Dans ce protocole, plutôt que d'être déplacée ou transportée entre deux points, l'énergie est dépensée à un point du système pour recueillir de l'information qui est ensuite transférée par intrication et utilisée au deuxième point pour extraire de l'énergie. Jusqu'ici, tout cela demeurait purement théorique, mais la publication de la première expérience visant à tester la téléportation d'énergie quantique de l'équipe de recherche de l'Institut vient changer la donne.

« Si l'on observe des sections locales du vide, on peut voir des variations d'énergie. Parfois, les variations donnent de l'énergie et parfois c'est l'inverse, mais en moyenne, on constate un apport d'énergie au système, explique Eduardo Martín-Martínez. Mais en présence d'intrication – constatée dans la plupart des systèmes dans le monde –, on peut consommer de l'énergie pour obtenir de l'information sur un état local. Puis, on envoie cette information à une personne qui a accès à une autre partie du vide. De là, elle peut utiliser cette information pour capter la bonne variation à son état local afin d'extraire de l'énergie. »

Dans cette expérience, les scientifiques ont utilisé la résonance magnétique nucléaire (RMN) pour simuler le système quantique d'un vide en utilisant trois atomes de carbone dans l'acide trans-crotonique de la molécule. Chaque noyau de carbone a un état de spin intrinsèque haut ou bas, qui peut être exploité comme un qubit dans les expériences de RMN. Deux noyaux de carbone (A et B) agissent comme les points intriqués et le troisième agit comme un qubit auxiliaire. Pour effectuer l'expérience, les scientifiques ont utilisé le qubit auxiliaire pour mesurer le qubit A sans transfert d'énergie entre les qubits A et B. L'information ainsi obtenue a ensuite servi à extraire l'énergie du qubit B sans transfert d'énergie entre les qubits. Ce procédé a démontré la faisabilité de l'extraction d'énergie dans un état local fortement passif au moyen du protocole de téléportation.

« Nos travaux nous informent sur l'interaction entre l'intrication et la localité, et son effet sur la circulation d'énergie dans le système, renchérit Nayeli Rodríguez-Briones. Ils font le pont entre des notions de plusieurs domaines, comme l'information quantique et la thermodynamique quantique, ce qui pourrait avoir une utilité pour d'autres problèmes et applications en physique théorique. »

Si cette expérience est une première étape, les retombées de cette théorie pourraient rejaillir dans un vaste éventail d'applications quantiques et affiner notre compréhension de la théorie quantique. Par exemple, si l'on comprend les protocoles de téléportation de l'énergie quantique, on peut mieux saisir le paradoxe de l'information (trou noir) et



trouver des applications qui utilisent la thermodynamique quantique pour améliorer les dispositifs quantiques.

« En menant une expérience, même s'il s'agit d'un tout premier pas dans l'utilisation d'idées et de notions de la théorie quantique, nous pouvons prouver que le monde respecte les principes théoriques de la mécanique quantique, s'enthousiasme Raymond Laflamme. Notre expérience prouve que l'extraction d'énergie d'un état fondamental intriqué est possible. Il s'agit d'un petit pas, mais qui ouvre la porte à un monde de possibles – plutôt que de parler de science de l'information quantique, on parlera bientôt de technologies de l'information quantique. »

Atténuer les erreurs dans les circuits quantiques supraconducteurs pour ouvrir la voie aux ordinateurs quantiques de demain

Sur la base d'une recherche publiée dans Physical Review Applied le 6 septembre 2022
<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.18.034009>

L'ère quantique se profilant à l'horizon, les scientifiques cherchent à concevoir des ordinateurs quantiques ayant une vitesse de traitement exponentiellement plus rapide que celle des superordinateurs les plus avancés d'aujourd'hui, mais la conception d'un ordinateur quantique utile est l'un des grands défis techniques de notre époque. Pour réussir, il faut des qubits fiables, stables et modulables.

L'exactitude et la fiabilité des qubits font l'objet d'une étude menée par [Matteo Mariantoni](#), membre du corps enseignant de l'Institut d'informatique quantique et professeur au [Département de physique et d'astronomie](#) de l'Université de Waterloo. L'équipe de recherche travaille avec des circuits quantiques supraconducteurs, actuellement l'une des plateformes de prédilection pour la conception d'un ordinateur quantique.

L'équipe crée des appareils supraconducteurs en utilisant des puces composées de couches d'aluminium sur des tranches de silicium. Puisque c'est cette même technologie que les chercheurs emploient pour tenter de bâtir les premiers ordinateurs quantiques entièrement fonctionnels, il est essentiel de comprendre et de mesurer la quantité de décohérence – la perte d'information quantique pouvant notamment être causée par le bruit – dans un circuit. Ces effets doivent être corrigés ou minimalisés pour qu'un ordinateur quantique puisse bien fonctionner et produire des résultats exacts.

Viennent nuire aux circuits supraconducteurs des défauts du matériau environnant appelés « systèmes à deux niveaux » qui, comme les qubits, peuvent avoir l'un des deux niveaux d'énergie (état fondamental ou état excité) à tout moment. Dans une étude précédente, l'équipe de recherche a observé que les fluctuations thermiques entre les états fondamental et excité des systèmes à deux niveaux peuvent entraîner la décohérence des qubits et demandent donc un réétalonnage constant des paramètres de contrôle des qubits. Dans la foulée de ces travaux, elle a délaissé les qubits pour se pencher sur les résonateurs, un autre type d'objet quantique essentiel à l'informatique quantique, pour mieux comprendre la physique des systèmes à deux niveaux.



[Jérémy Béjanin](#), boursier postdoctoral à l'Institut, faisait partie de l'équipe qui a étudié les fluctuations attribuables aux systèmes à deux niveaux : « Comme les systèmes à deux niveaux ne peuvent être directement mesurés, nous utilisons des résonateurs comme sondes pour détecter indirectement les fluctuations causant la décohérence. »

Dans la plus récente expérience, un champ électromagnétique a servi à exciter la population des systèmes à deux niveaux, après quoi les chercheurs ont utilisé un résonateur pour observer la plateforme et évaluer la diminution d'énergie causée par les défauts dans le circuit. « Un résonateur est un peu comme la corde d'une guitare qui vibre à une fréquence donnée, sauf qu'il ne s'agit pas d'une vibration acoustique mais électromagnétique, explique M. Béjanin. Dans nos expériences, les résonateurs sont des bandes d'aluminium placées sur la puce qui résonnent, ou vibrent de manière électromagnétique, à une fréquence précise. Nous pouvons mesurer la fréquence exacte et observer la durée de la résonance pour déterminer le facteur de qualité du résonateur. »

Ainsi, pour évaluer ce facteur de qualité, il faut mesurer pendant combien de temps le résonateur résonne, ou vibre, à une fréquence donnée. « Les systèmes à deux niveaux réduisent l'énergie qui se rend aux résonateurs et donc le facteur de qualité. C'est comme si on mettait le doigt sur la corde de la guitare pendant qu'elle vibre; cela "assourdit" le résonateur ou raccourcit la vibration. » Pour exciter les défauts, les chercheurs ont utilisé un signal hyperfréquences qui interagit au minimum avec le résonateur, puisqu'il a été démontré que ce type de signal élimine les erreurs causées par les systèmes à deux niveaux à puissance élevée. Ils ont ainsi pu « retirer » une fraction des défauts qui nuisaient au résonateur pour mieux caractériser les fluctuations.

Une sonde peu puissante qui interagissait directement avec le résonateur a servi à surveiller la fréquence de résonance et à déduire en continu le facteur de qualité. Cette étude est la première à surveiller la fréquence d'un résonateur sans interruption sur plusieurs jours – cinq, dans ce cas-ci. Les données montrent explicitement que les défauts peuvent fausser les résultats des expériences à court ou à long terme. « Puisque les fluctuations modifient la performance des qubits et des résonateurs au fil du temps de manière imprévisible, elles rendent les résultats des calculs incohérents et peu fiables. C'est un problème pour les ordinateurs quantiques. »

Les ordinateurs quantiques fondés sur ces plateformes supraconductrices, comme ceux d'IBM et de Google, sont vulnérables à ces défauts et aux fluctuations qu'ils causent. Les travaux de l'équipe de M. Mariani indiquent que tout système informatique qui n'est pas constamment surveillé et réétalonné selon les fluctuations aléatoires risque fort de produire des résultats erronés à l'insu de l'utilisateur. Tant que ce problème demeurera, il sera difficile de fabriquer un ordinateur quantique de grande qualité.

Maintenant qu'elle a caractérisé ce problème, l'équipe compte chercher des façons d'atténuer les erreurs causées par un système à deux niveaux. C'est par la

compréhension de phénomènes dissipatifs tels que la décohérence quantique que l'on pourra développer les ordinateurs quantiques de demain.

Cette étude a été financée en partie par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada, par le biais du programme de [Transformative Quantum Technologies \(TQT\)](#).

Recrutement – Professeurs

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

Ainsi, l'IQC travaille activement au recrutement de professeurs et fait preuve d'un grand soin pour ne retenir que la crème des professeurs et des associés de recherche. Tout récemment, en juillet 2023, il a accueilli Graeme Smith, Ph. D., professeur au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Pr Smith se spécialise en information et en informatique quantiques et a auparavant travaillé à l'Université du Colorado à Boulder.

En matière d'attrait pour les talents de calibre international, la recherche de pointe de l'IQC et l'esprit entrepreneurial de l'Université de Waterloo permettent à l'IQC de rivaliser non seulement avec les autres établissements universitaires, mais aussi avec un secteur privé très fécond et particulièrement gourmand en talents, lequel est entre autres alimenté par les jeunes entreprises des professeurs de l'IQC.

À l'exercice 2022-2023, Kyung Soo Choi a quitté l'IQC pour diriger sa propre jeune entreprise, Q-Block Computing, qui emploie actuellement plusieurs personnes dans la région et nourrit l'écosystème entrepreneurial dynamique de Waterloo.

En outre, l'ancien professeur de l'IQC et directeur par intérim John Watrous est devenu directeur technique d'IBM Quantum Education après avoir pris une année sabbatique



pour se faire la main dans ce rôle. Il se joint ainsi à une demi-douzaine d'anciens membres de l'IQC qui travaillent au développement de l'informatique quantique sur ce qui pourrait bien être l'ordinateur quantique actif le plus avancé au monde.

Recrutement – Associés de recherche

Les associés de recherche sont un atout précieux pour le progrès universitaire de l'IQC; beaucoup possèdent une riche expérience en recherche, remplissant un rôle essentiel dans le fonctionnement des laboratoires de pointe et des activités techniques de l'établissement. À l'exercice 2022-2023, l'équipe comptait 22 associés de recherche, dont 5 fraîchement recrutés d'Allemagne, de Hong Kong et de diverses régions du Canada. Une autre recrue nous arrive d'ailleurs d'un programme d'études supérieures de l'IQC, ce qui témoigne de

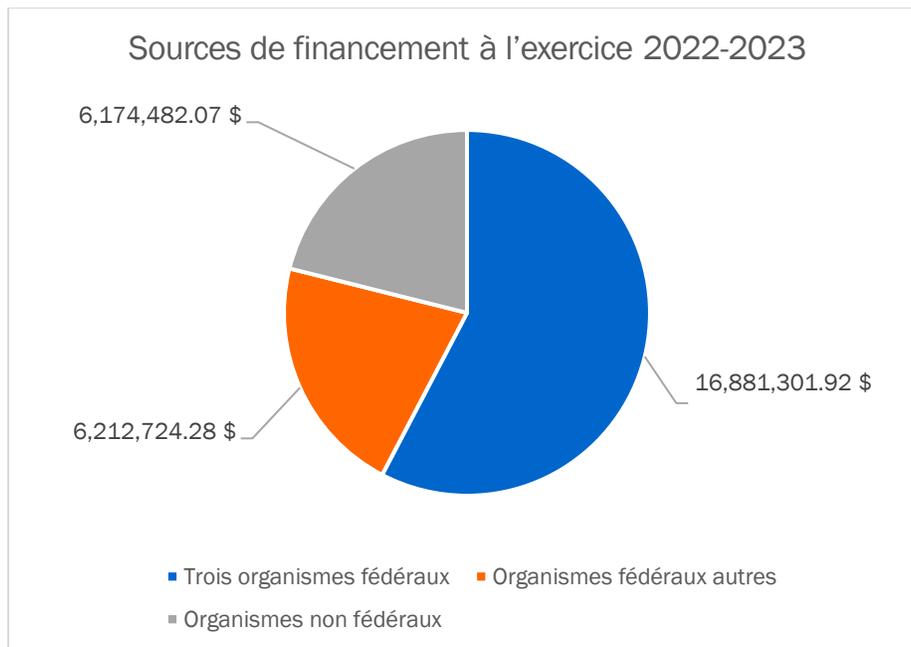


l'excellence des cours mis au point ces 20 dernières années. Ces associés de recherche travaillent avec les chercheurs principaux à l'avancement des programmes et initiatives de recherche. Ils participent aussi pleinement à la commercialisation de leur expertise unique, trois associés de longue date ayant fondé des entreprises cette année. La liste complète des contributeurs de l'IQC pour l'exercice 2022-2023 (30 professeurs, 2 professeurs adjoints en recherche et 22 associés de recherche) se trouve à l'annexe C (page 79).



Bourses et chaires de recherche

Du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023, les chercheurs de l'IQC ont collectivement amassé 29 268 508 \$ en financement de la recherche de sources diverses, dont les chaires de recherche, le gouvernement du Canada, la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) et des partenaires privés. Le financement du secteur privé s'est chiffré à près de 400 000 \$ cette année, et le total cumulatif des ententes présentes et passées avec Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) atteint désormais un peu plus de 128 millions de dollars.



Les travaux des professeurs de l'IQC ont un rayonnement important à l'échelle mondiale, comme le démontrent les multiples reconnaissances et prix prestigieux obtenus. Ces distinctions renforcent la réputation exceptionnelle de l'IQC et du Canada dans le milieu de l'informatique quantique. Voici certains des prix décernés aux professeurs en 2022-2023 :

Professeur	Bailleur de fonds
Adam Wei Tsen	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
	Gerald Schwartz & Heather Reisman Foundation
	Ministère des Collèges et Universités (MCU) (anciennement le MDECEC) – Bourse de nouveau chercheur
	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
	CRSNG – Subventions De l'idée à l'innovation (INNOV)

	Bureau de recherche de l'armée américaine
Adrian Lupascu	Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) Gerald Schwartz & Heather Reisman Foundation CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Alan Jamison	RDDC CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Ashwin Nayak	Fujitsu Research of America, Inc. Mitacs Inc Mitacs Partner Contribution
Christine Muschik	MCU (anciennement le MDECEC) – Bourse de nouveau chercheur CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) FCI – Fonds d'exploitation des infrastructures (FEI)
Christopher Wilson	RDDC Mitacs Inc Mitacs Partner Contribution CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Crystal Senko	Chaires de recherche du Canada (CRC) – CRSNG MCU (anciennement le MDECEC) – Bourse de nouveau chercheur CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
David Cory	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada RDDC CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
David Gosset	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR) IBM – États-Unis CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Debbie Leung	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Dmitry Pushin	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Guo-Xing Miao	Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Jon Yard	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Université de la Colombie-Britannique Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada
Jonathan Baugh	Mitacs Inc Mitacs Partner Contribution CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Joseph Emerson	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Université d'Innsbruck
Kazi Rajibul Islam	MCU (anciennement le MDECEC) – Bourse de nouveau chercheur CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Kevin Resch	Université de Waterloo – Contribution CRC – CRSNG

	Conseil national de recherches du Canada (CNRC) – Autre CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Matteo Mariantoni	FCI – FEI Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada
Michael Reimer	RDDC Mitacs Inc Mitacs Partner Contribution CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada
Michal Bajcsy	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Sony JPMorgan Chase & Co. Massachusetts Institute of Technology (MIT) Mitacs Inc Mitacs Partner Contribution
Michele Mosca	CNRC – Autre CRSNG – Subventions Alliance CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Services publics et Approvisionnement Canada (SPAC) – Autre Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada
Na Young Kim	MCU (anciennement le MDECEC) – Programme d’excellence en recherche du Fonds pour la recherche en Ontario (ER-FRO) CRSNG – Subventions Alliance CRSNG – Programme de formation orientée vers la nouveauté, la collaboration et l’expérience en recherche (FONCER) CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) RDDC
Norbert Lütkenhaus	Honeywell International Inc. CRSNG – Subventions Alliance CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Raffi Budakian	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Raymond Laflamme	Keysight Technologies Inc. CRSNG – Subventions Alliance Institut Périmètre de physique théorique
Richard Cleve	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
Shalev Ben-David	CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN) Agence spatiale canadienne
Thomas Jennewein	Fonds d’excellence en recherche Apogée Canada RDDC Honeywell International Inc.

Institut national de la recherche scientifique (INRS)
CNRC – Programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques »
CNRC – Autre
CRSNG – Subventions Alliance
CRSNG – Supplément aux subventions à la découverte MDN-CRSNG
CRSNG – Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)
CRSNG – Subventions INNOV
CRSNG – Programme de subventions d’outils et d’instruments de recherche (OIR) (catégorie 1)
Université Western Ontario
William Slofstra Programme de subventions à la découverte – individuelle (RGPIN)

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

- Raymond Laflamme, chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis (2017-2027)
- Christine Muschik, chaire de recherche de l’université (2022-2027)
- William Slofstra, chaire de recherche de l’université (2022-2027)
- Crystal Senko, chaire de recherche du Canada (2020-2025)
- David Cory, lauréat des chaires d’excellence en recherche du Canada (2017)
- Raffi Budakian, chaire fondée de l’Université de Waterloo sur les nanotechnologies (2014-en cours)
- Kevin Resch, chaire de recherche du Canada (2013-2023)

Sans oublier les anciens titulaires :

- Debbie Leung, chaire de recherche de l’université (2015-2022)
- Michele Mosca, chaire de recherche de l’université (2012-2022)
- Raymond Laflamme, chaire de recherche du Canada (2002-2022)

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

En date de mars 2023, le QNC compte 16 laboratoires de recherche opérationnels.

Voici ceux qui ont été retenus :

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

L'IQC continue d'améliorer ses infrastructures. Notamment, il a équipé son laboratoire de vulgarisation et de découverte quantiques d'un studio d'enregistrement virtuel pour offrir aux étudiants et au public des présentations en direct avec démonstrations visuelles et tableau lumineux. Une imprimante 3D y a aussi été installée pour faciliter la préparation de trousse de ressources pour étudiants et enseignants. En 2022-2023, le laboratoire a créé des trousse de démonstration éducative abordables pour l'enseignement de la distribution quantique de clés et en a fait parvenir à 80 enseignants au secondaire du Canada et des États-Unis. Il a également diffusé des expériences en direct pour faire participer le public à distance et présenté les fondements de la quantique à plus de 400 personnes cette année.

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

La QNFCF est responsable de trois laboratoires de métrologie nanométrique quantique : un laboratoire de microscopie électronique à transmission, un laboratoire de faisceau ionique focalisé et un laboratoire de préparation d'échantillons secs. Cette année, les utilisateurs enregistrés ont accumulé 34 515 heures sur les équipements indépendants de la QNFCF, accessibles aux chercheurs des secteurs public, privé et universitaire. C'est là un record d'utilisation pour le laboratoire. La demande des secteurs universitaire et privé continue d'ailleurs de susciter un vif intérêt chez divers groupes de l'Ontario et du Canada.

- Le nombre total d'utilisateurs s'élève désormais à 232 (contre 209 en 2021-2022), y compris 47 utilisateurs du secteur privé.
- La demande augmente pour des installations de laboratoire de pointe au pays; les locaux de la QNFCF ont servi cette année à 75 groupes de recherche (57 universitaires et 18 privés).
- Au total, 22 établissements (4 universitaires et 18 privés) ont utilisé les locaux de la QNFCF, dont l'Université de Toronto et l'Université de la Colombie-Britannique.
- Les 2 863 heures consacrées à des activités d'établissement de processus ont permis la création et la caractérisation de plusieurs nouveaux processus et rapports techniques qui profiteront à tous les utilisateurs enregistrés.
- Plus de 2 300 heures d'utilisation ont été enregistrées par des entreprises privées en pleine expansion, dont Photonic Inc. (fondée à l'Université de la Colombie-Britannique) et Anyon Systèmes inc. (Montréal).

La QNFCF continue de profiter des initiatives de l'IQC pour développer ses capacités et optimiser ses infrastructures de recherche. À l'exercice 2022-2023, l'IQC a investi un montant important dans l'acquisition d'un nouveau système de microscopie électronique à balayage et à transmission pour remplacer un vieil appareil qui n'était plus entretenu par le fabricant original. Le nouveau système JEOL JEM-F200, équipé d'un système GAT 1065 GIF Continuum ER pour spectroscopie de pertes d'énergie d'électrons et microscopie électronique à transmission filtrée en énergie, a été installé avec succès au premier trimestre de 2023. Il s'agit là d'une amélioration considérable des capacités de microscopie électronique avancée qui sera d'une grande utilité aux membres actuels et futurs du laboratoire.

En outre, l'IQC a mené à bien une initiative pour doter la QNFCF d'un système de collage des tranches SUSS SB6 (installé au quatrième trimestre de 2022) et d'un système de microscopie électronique à balayage JEOL IT-510LV (installé au troisième trimestre de 2022). Le premier permettra l'exploration de techniques d'emballage microélectronique à l'échelle des tranches, et le second, la lithographie et la microscopie électronique dans un environnement inerte à boîtes à gants multiples.

L'IQC et l'initiative Transformative Quantum Technologies (TQT) du fonds Apogée financent les activités de la QNFCF, ayant fourni plus de 1,27 million de dollars en 2022-2023 pour couvrir les salaires, l'acquisition d'équipement et les contrats d'entretien du matériel.

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

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

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

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

Le RAC contient également de nombreux laboratoires d'appoint partagés, ateliers d'usinage et laboratoires de chimie humide essentiels pour les groupes de recherche et les utilisateurs de la QNFCF.

Collaborations et recherche de nouveaux partenariats

La communauté de recherche de l'IQC accorde une grande importance à la collaboration, tant avec d'autres groupes de recherche et universités qu'avec le gouvernement, les organismes à but non lucratif et les organisations privées. En 2022-2023, les professeurs de l'IQC ont rapporté 197 collaborations actives avec au moins 150 organisations différentes de partout dans le monde. La liste suivante donne des exemples d'universités, d'instituts de recherche, d'entreprises privées et d'organismes gouvernementaux partenaires. La liste complète des collaborations se trouve à l'annexe D (page 81).

- Qubic
- Google
- Conseil national de recherches du Canada
- IBM
- Crypto4A Technologies
- Institut national d'optique (Canada)
- Université Harvard
- CERN
- SERENE-RISC
- Université de la Colombie-Britannique
- Université de Georgetown
- Université Simon-Fraser
- Université Western Ontario
- ETH Zurich
- Université du Maryland
- CNRC
- Université Yale
- Jet Propulsion Laboratory
- Collège universitaire de Londres
- Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI)
- Quantum Algorithms Institute (Colombie-Britannique)
- Institut quantique
- Centre for Quantum Technologies
- Université nationale de Singapour
- Université du Texas à Austin
- Centre for Eye and Vision Research (Hong Kong)

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

- Gouvernement du Canada : L'équipe de direction de l'IQC rencontre régulièrement des représentants du gouvernement fédéral. En tant que fer de lance de l'informatique quantique au pays, l'IQC est financé par l'État et travaille avec le gouvernement pour le conseiller sur les avancées et l'incidence de la recherche sur les sciences et technologies de l'informatique quantique. À l'exercice 2022-2023, il a accueilli des représentants du ministère de la Défense nationale, du Conseil national de recherches du Canada, du Service canadien du renseignement de sécurité, de l'Agence spatiale canadienne et de Sécurité publique Canada. Ces interactions avec divers ministères visent à assurer à la population un rendement positif sur les investissements publics dans les sciences et technologies de l'informatique quantique.
- Organismes gouvernementaux à l'étranger – parties intéressées : Le Canada est un chef de file mondial en matière de sciences et technologies de l'informatique quantique. Nombre de ses alliés contribuent au lancement et au développement de ses projets quantiques, par un financement direct ou par la promotion de



collaborations internationales. En 2022-2023, l'IQC a reçu le consul général japonais, la Fondation de Corée, la direction des sciences pour le consulat général britannique, la commission du commerce avec les Pays-Bas, l'ambassadeur de l'Italie au Canada et des délégués de l'ambassade française. L'établissement contribue ainsi aux liens entre le Canada et ces nations partenaires, qui ont toutes un intérêt direct dans ses travaux (commerce, collaboration universitaire ou rayonnement scientifique).

- **Grandes multinationales** : L'IQC est un carrefour pour les jeunes entreprises, et la QNFCF est un point d'attrait pour les nouveaux acteurs commerciaux partout au Canada. Mais l'IQC attire aussi les plus grandes entreprises axées sur la quantique au monde. En 2022-2023, il a accueilli des représentants d'IBM, d'Apple, d'Amazon, de Microsoft et de Mitsubishi, des relations qui permettent un échange d'information et parfois même de personnel. Outre leur financement complémentaire à celui du gouvernement canadien, ces entreprises apportent parfois des ressources d'une grande valeur aux chercheurs de l'IQC, par exemple l'accès à un ordinateur quantique fonctionnel.
- **Entreprises émergentes axées sur la quantique** : En plus de ses collaborations avec les plus vastes entreprises du monde, l'IQC travaille à des projets financés par des entreprises émergentes de partout, dont les entreprises canadiennes Xanadu Computing Technologies, 1QBit, Anyon Systèmes inc., Photonic Inc. et Crypto4A et les entreprises internationales Zapata Computing et KETS Quantum Security Ltd. Nombre de ces entreprises entretiennent des liens étroits avec l'IQC, leurs fondateurs ayant déjà travaillé ou étudié à l'Université de Waterloo. De plus, l'IQC aide parfois ces entreprises à tisser des liens entre elles, préparant des protocoles d'entente qui visent l'utilisation d'équipement de partenaires privés dans les projets universitaires.
- **Jeunes entreprises** : Les jeunes entreprises de l'IQC et l'environnement qui favorise leur création et leur prospérité seront abordés ultérieurement dans le présent rapport.
- **Sociétés de capital-risque** : La plupart des visites de sociétés de capital-risque cette année visaient le financement de série A pour evolutionQ dans le premier semestre de 2022. Les sociétés The Group Ventures et Quantonation ont d'ailleurs pris part à plusieurs discussions avec la direction de l'IQC cette année pour explorer des options de financement du développement des technologies quantiques dans l'ensemble de l'écosystème de Waterloo. Par ailleurs, les frais de contrôle des propriétés quantiques ouvriront un tout nouveau secteur économique, mais les coûts initiaux seront importants; l'IQC aura besoin de capitaux privés au début du développement de nouvelles technologies ainsi qu'à la dernière étape de mise au point des applications quantiques.
- **Groupes universitaires canadiens** : En tant que plus ancien et plus prestigieux institut d'informatique quantique au pays, l'IQC accueille régulièrement des représentants de ses pairs canadiens. En 2022-2023, il a notamment ouvert ses portes à l'équipe de direction du Quantum Matter Institute (Université de la



Colombie-Britannique) et aux membres de PINQ², entreprise qui coordonne l'accès à l'ordinateur quantique d'IBM actuellement en construction à Bromont, au Québec. L'IQC est également en pourparlers avec d'autres centres de quantique du Canada (dont ceux de Sherbrooke et de Calgary) pour établir un réseau de recherche pancanadien qui exploiterait et renforcerait les spécialisations de chaque centre et projetterait à l'international une image claire et concise de l'excellence du pays en matière de quantique.

- Groupes universitaires internationaux : L'IQC a aussi eu des conversations avec les directions du Korea Institute for Advanced Study et du Centre national de la recherche scientifique de France en 2022-2023. Ces échanges internationaux illustrent bien la remarquable excellence de la recherche de l'IQC, et la réputation de chef de file qu'ont ses chercheurs sur la scène quantique internationale.

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



Objectif B

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

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

Activités planifiées :

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

Attirer des talents – Stagiaires postdoctoraux

Les occasions de mentorat, de publication, de recherche et d’enseignement offertes par le stage postdoctoral sont inestimables pour les chercheurs en début de carrière. En 2022-2023, l’IQC a accueilli 15 nouveaux stagiaires postdoctoraux, dont 5 qui venaient d’y terminer un doctorat. Cette capacité de recrutement à l’interne démontre l’excellence du programme des cycles supérieurs de l’IQC, qui lui permet de mener des recherches de calibre mondial et d’offrir à ses diplômés des possibilités de faire avancer leur carrière, même en présence de restrictions de voyage importantes.

Au cours du dernier exercice, l’IQC a employé 55 stagiaires postdoctoraux différents, dont au moins 14 étaient des femmes (26 %). Comme le montre le tableau ci-dessous, les nouveaux stagiaires provenaient de divers grands établissements canadiens et étrangers.

Canada	International
Université de Montréal	Université Oxford, Royaume-Uni
Université Western Ontario	Université Harvard, États-Unis
Université de Waterloo	Université de Houston, États-Unis
Université Queen’s	Université de l’Oklahoma, États-Unis
CNRC	

La liste complète des stagiaires postdoctoraux se trouve à l’annexe E (page 87).



Depuis 2021, 16 doctorants de l'IQC ont obtenu des bourses postdoctorales. Ces chercheurs en début de carrière sont dévoués à l'avancement de leurs travaux en quantique à l'IQC. En plus d'attirer de jeunes chercheurs hautement qualifiés, les bourses postdoctorales de l'établissement ont pour effet de semer les graines de la recherche quantique ailleurs au Canada; d'anciens postdoctorants de l'IQC se retrouvent dans les corps professoraux de nombreuses universités, dont l'Université Mount Allison, l'Université de Sherbrooke, l'Université McGill, l'Université d'Ottawa, l'Université Carleton, l'Université métropolitaine de Toronto et l'Université de Waterloo.

Attirer des talents – Étudiants de cycle supérieur

Dans la dernière année, l'IQC a reçu 558 demandes d'admission aux cycles supérieurs et admis 52 étudiants, pour un total de 207 (88 étudiants à la maîtrise et 119 étudiants au doctorat). Il reçoit des candidatures de certaines des écoles les plus prestigieuses du Canada et du monde. Le tableau ci-dessous indique la diversité de provenance des candidats, qui comprend 8 des 10 provinces canadiennes (l'Île-du-Prince-Édouard et Terre-Neuve-et-Labrador n'étant pas représentées).

Canada	International	États-Unis
Université de Montréal	Université de technologie de Delft	Université Columbia
Université de Calgary	ETH Zurich	Université Stanford
Université d'Ottawa	Institut indien de technologie de Bombay	Massachusetts Institute of Technology
Université McGill	Université de Cambridge	California Institute of Technology
Université de la Colombie-Britannique	Université fédérale de Sao Carlos	Université Yale

La liste complète des étudiants de cycle supérieur inscrits à l'IQC se trouve à l'annexe F (page 87).

Attirer des talents – Étudiants de premier cycle

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

USEQIP

Les étudiants peuvent faire une demande d'admission conjointe pour le programme annuel de l'Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing (USEQIP) et une session de recherche subséquente, ou postuler directement comme associé de recherche. Dans les deux cas, les étudiants de premier cycle s'initient aux connaissances nécessaires pour réussir dans un programme de sciences quantiques aux cycles supérieurs.

PROGRAMME COOPÉRATIF

Bien que l'USEQIP soit un excellent outil pour attirer des talents de partout, il ne faut pas oublier que l'IQC bénéficie du plus grand système de formation en alternance travail-études au Canada, à l'Université de Waterloo. Nombre des laboratoires de l'IQC mettent les étudiants de premier cycle en contact avec des activités de laboratoire avancées au quotidien. Par exemple, en 2022-2023, le laboratoire d'informatique quantique avec des ions piégés de K. Rajibul Islam a embauché trois étudiants inscrits à un programme d'alternance travail-études par session (neuf au total) et accueilli plusieurs chercheurs de premier cycle. Ces étudiants participent à des procédures de laboratoire poussées et sont parfois nommés dans les publications de leurs chercheurs principaux. John Donohue, gestionnaire principal de la vulgarisation scientifique, a lui aussi embauché trois étudiants cette année.

ASSISTANTS DE RECHERCHE DE PREMIER CYCLE

De nombreux participants à l'USEQIP suivent le programme, puis travaillent en laboratoire pour le reste de la session de printemps (au printemps 2022, 20 participants sur 24 sont restés à Waterloo pour travailler avec les professeurs de l'IQC). Cependant, le programme n'est pas obligatoire pour devenir assistant de recherche de premier cycle; les laboratoires reçoivent aussi beaucoup de demandes directes. Par exemple, celui de Christine Muschik emploie deux assistants de l'USEQIP et un assistant indépendant.

En 2022-2023, les laboratoires de l'IQC ont employé dans divers rôles 87 assistants de recherche de premier cycle et étudiants inscrits à un programme d'alternance travail-études.

Distinctions pour les étudiants de cycle supérieur

Les étudiants et chercheurs de l'IQC figurent parmi les plus grands esprits, et leur travail leur vaut prix et bourses d'études qui leur assurent les fonds nécessaires pour se consacrer à leurs études et briller par l'excellence de leur recherche. Dans la dernière année, 178 étudiants de l'IQC ont reçu un total de 660 prix, bourses de recherche et bourses d'études.

De ces 178 étudiants, 35 étaient des femmes (20 %), et 7 % se sont abstenus de déclarer leur genre (4 %). Dans l'ensemble, 89 % des étudiants de cycle supérieur de l'établissement ont reçu des prix, dont 71 % des étudiantes et 78 % des personnes n'ayant pas déclaré leur genre. La preuve de l'excellence de l'IQC n'est plus à faire.

De façon générale, le corps étudiant des cycles supérieurs continue de tendre vers la parité des genres, ayant compté 59 femmes et personnes n'ayant pas déclaré leur genre en 2021-2022, et 56 en 2022-2023. La liste suivante présente certains des prix, bourses d'études et bourses de recherche les plus prestigieux décrochés par les étudiants à la maîtrise et au doctorat :

- Six bourses Mike-et-Ophelia-Lazaridis

- Un prix d'excellence de l'IQC
- 50 prix pour étudiants internationaux au doctorat
- Sept prix d'excellence pour étudiants internationaux à la maîtrise
- 83 prix Marie-Curie pour étudiants de cycle supérieur
- Une bourse d'études supérieures du Canada Alexander-Graham-Bell du CRSNG – doctorat
- Trois bourses d'études supérieures du Canada Alexander-Graham-Bell du CRSNG – maîtrise
- Six bourses d'études supérieures du CRSNG – doctorat
- Trois bourses d'études supérieures du Canada Vanier du CRSNG
- 21 bourses d'études supérieures du président
- Une bourse d'études supérieures Raymond-Laflamme-et-Janice-Gregson pour les femmes en informatique quantique
- Quatre bourses d'études supérieures de l'Ontario
- Une bourse d'études postuniversitaires William-Tutte
- Un prix de mentorat du programme de lecture dirigée pour les femmes en mathématiques

Développement professionnel

Si l'IQC peut se vanter d'une réputation enviable en recherche, l'établissement est également renommé pour favoriser l'épanouissement de ses étudiants et de ses stagiaires postdoctoraux. En 2022-2023, au moins 22 (13,5 %) des articles évalués par les pairs publiés par ses étudiants au doctorat et ses stagiaires postdoctoraux ne comptaient pas de professeur parmi les auteurs; certains sont le produit d'une collaboration entre un étudiant et un stagiaire, d'autres, du travail d'un étudiant seul. Par exemple, Erickson Tjoa et un autre doctorant ont publié un article dans *Physical Review D* en avril 2022, lequel a à ce jour été cité huit fois. Erickson Tjoa est également auteur unique de plusieurs articles lui ayant valu un indice h de 8 (avant l'obtention de son doctorat). Priyanka Mukhopadhyay est aussi seule auteure d'un article paru dans le *Journal of Computer and System Sciences* en février 2022 (deux citations) et a été nommée dans 11 publications. Soulignons le thème d'aide au développement et au réseautage professionnels qui revient dans une bonne partie des profils de la section suivante. Par ailleurs, certains étudiants et stagiaires postdoctoraux de l'IQC (actuellement au nombre de 8, répartis dans 11 des jeunes entreprises liées à l'IQC) sont impliqués dans la commercialisation de leurs travaux, en partenariat avec un professeur ou par eux-mêmes.

La réputation de l'ICQ en recherche lui sert à attirer de brillants étudiants et stagiaires postdoctoraux et à leur offrir des occasions de se démarquer dans leur carrière de choix, que ce soit en recherche universitaire ou dans le secteur privé.

Diplômés de l'ICQ : l'avenir de la quantique

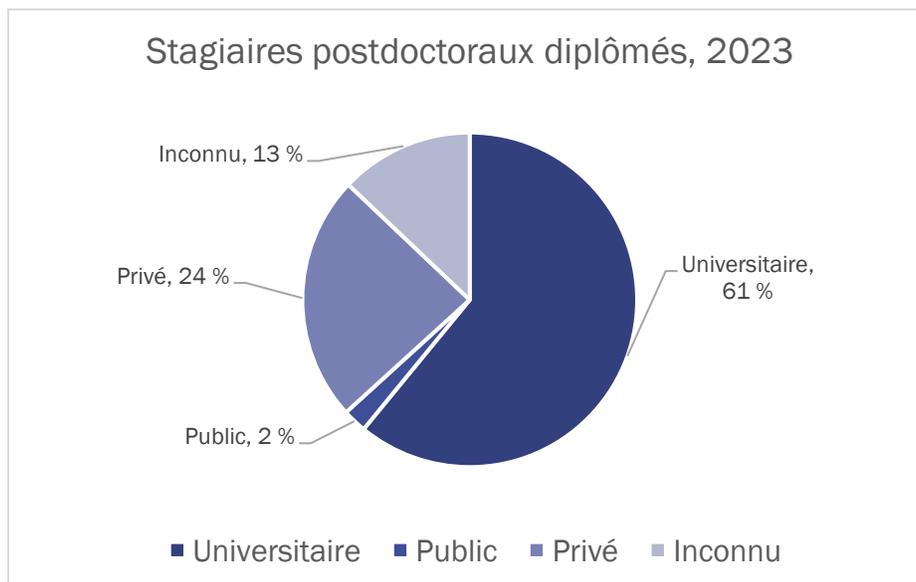
Les étudiants et stagiaires postdoctoraux diplômés de l'ICQ deviennent des citoyens du monde dotés d'une grande force d'influence dans les secteurs universitaire, privé et public. Ils contribuent aux avancées de la quantique dans divers champs d'activité, comme les finances, les communications et la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

Exemples de postes occupés par les diplômés :

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

Répartition des stagiaires postdoctoraux diplômés

En dehors du milieu universitaire, les stagiaires postdoctoraux diplômés sont considérés comme des modèles, des visionnaires et des chefs de file par leurs pairs. Lorsqu'ils quittent le campus, ils deviennent des citoyens du monde capables d'influencer les secteurs universitaire, privé et public. Voici un aperçu des milieux professionnels choisis par les diplômés postdoctoraux de l'ICQ en date du 31 mars 2023 :





Profils des stagiaires postdoctoraux diplômés

Simone Severini – Stagiaire postdoctoral, 2007-2009

Simone Severini découvre l'informatique quantique en 1997. Tout de suite, il a la piqûre. Un an plus tard, il se rend au Royaume-Uni pour rencontrer des acteurs du domaine, dont le doctorant Michele Mosca, qui allait vite devenir l'un des membres fondateurs de l'Institut d'informatique quantique de Waterloo. Dix ans plus tard, Simone Severini rejoint les rangs de l'IQC, étudiant l'intersection de la combinatoire et de la physique quantique comme stagiaire postdoctoral de Michele Mosca.

Après son passage à l'IQC, il a occupé plusieurs postes universitaires avant de devenir gestionnaire à Amazon Web Services (AWS), où il travaille désormais à accélérer l'innovation dans les technologies quantiques. Selon ses dires, il aspire à apporter une contribution positive à la science et des retombées marquantes « sans écrire des articles scientifiques ».

Simon Severini a aussi veillé à la conception et au développement de la stratégie quantique d'AWS. Il a contribué au lancement d'Amazon Braket, un service géré d'informatique quantique qui donne aux chercheurs et aux développeurs accès à différents équipements quantiques, ainsi qu'à la structuration de l'Amazon Quantum Solutions Lab, qui aide les clients à mener des recherches pour trouver les applications quantiques les plus prometteuses pour eux. Il a également cofondé l'AWS Center for Quantum Computing et l'AWS Center for Quantum Networking, qui travaillent tous deux avec le secteur universitaire pour abattre les obstacles au développement de l'informatique quantique.

« L'IQC m'a aidé à reconnaître la valeur de la collaboration et du travail d'équipe pour la première fois dans ma vie, explique-t-il. Quand on rassemble dans un même endroit des informaticiens, des physiciens quantiques, des mathématiciens et d'autres gens au bagage varié, on crée une terre féconde; les intérêts communs et les aptitudes complémentaires se rencontrent. »

Sarah Sheldon – Stagiaire postdoctorale, 2013

Lors de son dernier passage à l'IQC, l'ancienne stagiaire postdoctorale Sarah Sheldon a donné à un groupe de l'Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing (USEQIP) un cours sur le processeur infonuagique IBM Quantum Experience. Membre de l'équipe d'informatique quantique expérimentale d'IBM Research, elle travaille actuellement à une architecture d'informatique quantique reposant sur des qubits supraconducteurs et la correction d'erreurs par code de surface. Elle développe de nouvelles techniques d'étalonnage et de caractérisation pour mieux comprendre les erreurs du système quantique.

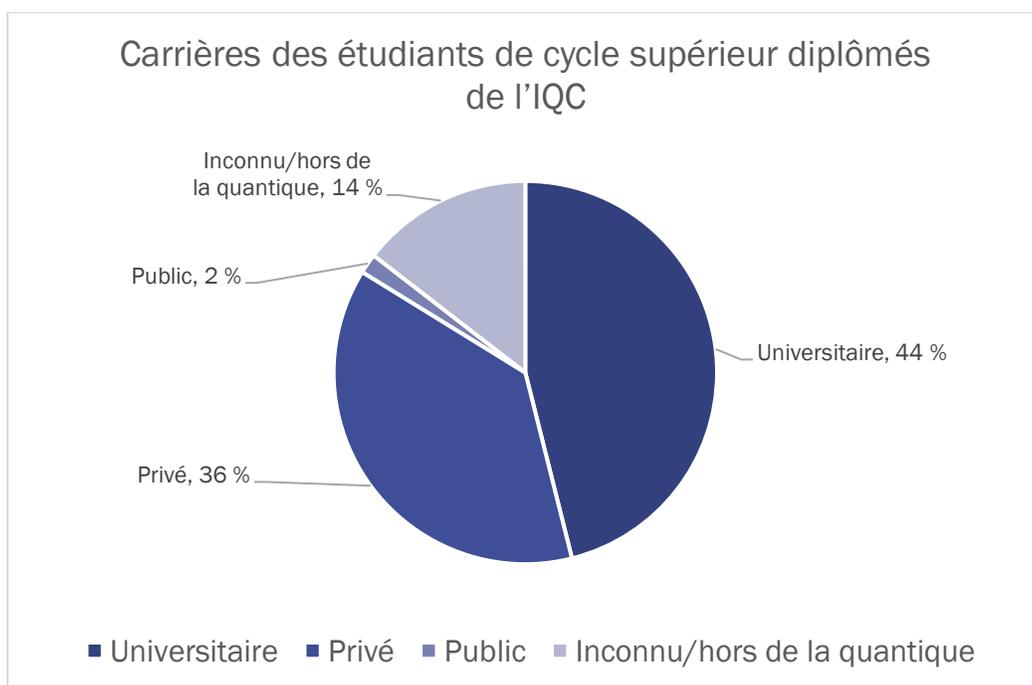
« Les travaux que j'ai menés à l'IQC me sont très utiles dans mon poste actuel à IBM », affirme Sarah Sheldon. La diplômée possède un doctorat en sciences et génie nucléaires

du Massachusetts Institute of Technology (MIT), réalisé sous la supervision de David Cory. Elle a étudié la résonance magnétique nucléaire et la résonance paramagnétique électronique, particulièrement la polarisation dynamique nucléaire et le contrôle quantique. Pendant son mandat de stagiaire postdoctorale à l'IQC, elle a découvert différentes approches de recherche en quantique qui l'ont incitée à choisir un groupe de recherche combinant théorie, expérience, génie et science fondamentale.

« L'informatique quantique est un domaine tellement interdisciplinaire. C'est pour ça que j'aime les communautés de recherche comme celles de l'IQC ou d'IBM; elles rassemblent des gens aux intérêts et aux parcours fort variés de toutes les sphères du domaine. »

Aperçu des étudiants de cycle supérieur diplômés

Cette année, l'IQC est fier d'avoir envoyé 29 étudiants en master et 7 étudiants en doctorat pour obtenir des diplômes de haut niveau, ce qui porte le nombre total d'anciens étudiants à 415. Ces diplômés occupent divers emplois dans les secteurs universitaire, privé et public, au Canada et ailleurs dans le monde. En date du 31 mars 2022, 127 (30 %) des diplômés de l'IQC, dont 27 femmes, travaillaient en informatique quantique au pays, et au moins neuf autres étaient stagiaires postdoctoraux dans des universités canadiennes. Le graphique ci-dessous montre la répartition des diplômés par domaine d'activité, lorsque indiquée.





Profils des étudiants diplômés

Maris Ozols (maîtrise en mathématiques, combinatoire et optimisation, et doctorat en combinatoire et optimisation)

Maris Ozols est atterri au cycle supérieur à l'IQC par ce qu'il décrit comme « une série d'accidents ». Après avoir choisi de suivre son intérêt pour l'informatique au premier cycle, comme tout le monde le faisait, il a rencontré un professeur d'informatique quantique qui allait l'embaucher comme stagiaire de recherche. Ce professeur connaissait également un chercheur de l'IQC, qui a à son tour pris Maris Ozols comme stagiaire à l'été suivant. Et après cette expérience à l'IQC, il ne pouvait « faire autrement que de revenir »!

Aujourd'hui, il est professeur à l'Université d'Amsterdam, où il explore l'optimisation et la théorie des représentations dans le contexte des applications à l'information quantique. Sa recherche vise plus particulièrement à mettre des outils mathématiques et de calcul au service de la communauté; il espère faire une belle découverte qui sera utile à d'autres et qui permettra de créer techniques et modèles facilitant la résolution de vastes groupes de problèmes.

« Mon travail à l'IQC a jeté les bases d'algorithmes et d'informations quantiques auxquels je travaille actuellement, raconte Maris Ozols. C'était l'endroit idéal pour me bâtir un réseau universitaire et cultiver mon sentiment d'appartenance à la communauté quantique. Quand on habite à Waterloo, on finit par rencontrer tant de gens qu'on ne peut que se sentir à la maison. »

Chris Erven (maîtrise et doctorat en physique, informatique)

Alors qu'il était au premier cycle en génie à l'Université de Waterloo, Chris Erven a été inspiré par le professeur de l'IQC Michele Mosca. Il percevait dans l'informatique quantique et la cryptographie une occasion de combiner la complexité de la physique quantique à l'aspect pratique de l'ingénierie. Il a donc réalisé une maîtrise et un doctorat à l'IQC, sous la supervision de Gregor Weihs et Raymond Laflamme. Parmi ses travaux sur les systèmes de distribution quantique de clés (DQC), mentionnons la mise en place d'un système en temps réel fonctionnel entre les toitures du campus (CEIT, BFG, RAC) et de l'Institut Périmètre ainsi que dans les locaux et sur les terrains du RAC. Dans une étude mémorable, Chris Erven avait même déployé la moitié de son matériel expérimental dans le bureau de Raymond Laflamme, alors directeur général de l'IQC, un événement qui illustre bien la culture collaborative et l'unité de l'établissement.

Après son départ de l'IQC, constatant un écart entre le milieu universitaire et le privé, il a cofondé le Quantum Technology Enterprise Centre (QTEC), un incubateur de jeunes entreprises en quantique à l'Université de Bristol, où il a été d'abord stagiaire postdoctoral, puis chargé de cours. Parallèlement, lui et trois autres personnes ont fondé KETS Quantum Security pour commercialiser leurs travaux novateurs en cryptographie quantique à base de puces. En tant que chef de la direction, Chris Erven définit l'orientation stratégique de KETS et passe ses journées à rencontrer investisseurs et clients et à coordonner l'équipe. « J'espère que mon travail aidera à commercialiser des



solutions de sécurité à l'épreuve des technologies quantiques, explique-t-il. De nos jours, il ne se passe pas 30 secondes sans qu'on interagisse avec des technologies numériques, toutes reliées à des réseaux vulnérables aux menaces de la quantique. C'est ce que veut changer KETS. »

Il attribue son esprit entrepreneurial à l'Université de Waterloo et à l'IQC, ayant attrapé « la fièvre des jeunes entreprises » lors de son passage au premier cycle en alternance travail-études et en tant qu'étudiant aux débuts de l'IQC. Il décrit d'ailleurs l'établissement comme « la version universitaire d'une jeune entreprise », qui encourage à garder l'esprit ouvert et à se lancer sans craindre l'échec. Enfin, il nomme comme grande source d'inspiration sa proximité avec Research In Motion (RIM) et les discours de son fondateur, Mike Lazaridis, qui a aussi donné son impulsion à l'IQC.

Conférences majeures

Quantum Connections

L'IQC est heureux de pouvoir accueillir des conférences en présentiel à Waterloo dans l'après-pandémie, comme l'illustre la conférence inaugurale Quantum Connections présentée au début de mai 2023. Bien que cette conférence ait eu lieu après la période à l'étude, le travail de planification et d'organisation s'est fait pendant l'exercice visé. La conférence s'inspire d'un événement du CNRC tenu en personne avant la pandémie pour rassembler la communauté de la quantique. Les participants avaient souligné l'importance de tels rassemblements au Canada, se demandant pourquoi ils n'étaient pas plus fréquents. C'est ce besoin que l'IQC a tenté de combler avec Quantum Connections, un rassemblement axé sur les activités de réseautage pour favoriser les nouvelles collaborations et tisser des liens entre les secteurs universitaire, privé et public. À travers un mélange de discussions en groupe et de discours-programmes, la conférence a jeté un regard critique sur les enjeux auxquels l'expansion de l'écosystème quantique mondial oppose le Canada et présenté des suggestions et des mesures proactives que peuvent appliquer les professionnels du domaine pour aider le pays à conserver sa place de choix sur la scène internationale de la quantique. Quantum Connections a été un franc succès, accueillant plus de 150 professionnels sur deux jours et récoltant des commentaires fort positifs des conférenciers, des panélistes et des participants. Il est déjà prévu que cet événement printanier devienne une tradition annuelle.

En plus de ce rendez-vous, plusieurs conférences axées sur la recherche ont aussi eu lieu; elles seront examinées plus loin dans le rapport.

Séminaires et colloques

Les séminaires et colloques fréquents de l'IQC assurent la participation soutenue du milieu de la recherche et des visiteurs. Cette année, l'établissement a accueilli 78 séminaires, dont 32 organisés par et pour les étudiants, ainsi que 10 colloques. La



série de séminaires étudiants, lancée à l'exercice 2019-2020, continue de rassembler les membres de l'IQC pour donner l'occasion aux étudiants d'échanger sur leurs résultats de recherche, de découvrir ce qui se fait dans les champs connexes au leur et de s'habituer à faire des présentations. Le nombre de séminaires a augmenté à mesure qu'ont été levées les restrictions sanitaires. À noter que l'équipement multimédia acheté pendant la pandémie continue d'être utilisé, car plusieurs séminaires sont enregistrés ou diffusés en direct sur YouTube.

La diffusion des séminaires et colloques sur YouTube élargit considérablement le public et diversifie grandement la participation (par exemple, lors de l'événement Quantum Steampunk, 11 questions ou commentaires de participants à distance se sont ajoutés à la contribution des participants sur place). Motivé par cet intérêt, l'IQC compte continuer de mettre les enregistrements en ligne. L'utilité des réseaux sociaux comme outil de rayonnement et de recrutement est examinée plus loin dans ce rapport (page 59).

Conférences et ateliers commandités

L'IQC s'engage à soutenir des conférences et des ateliers externes pour encourager la collaboration au sein d'un réseau de chercheurs national et mondial. Il a commandité plusieurs événements de partenaire externes à l'exercice 2022-2023 (voir le tableau) et continuera de commanditer des événements pertinents lorsque l'occasion se présente.

Date	Conférence	Lieu
Mai	JAMHacks 6 (Waterloo)	En ligne
Juin	Congrès de l'ACP	McMaster
Juillet	Stinson66	Fields Institute, Toronto
Juillet	Theory of Quantum Computing (TQC)	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign
Juillet	13 th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity & High Temperature Superconductors (M2S)	Vancouver
Septembre	3 rd International Workshop on Programming Languages for Quantum Computing	Ljubljana, Slovénie
Octobre	Conférence canadienne des étudiants en physique (CCEP)	Guelph
Janvier	Quantum Days	En ligne

Ces commandites aident à bâtir l'image de marque de l'IQC pour recruter de futurs étudiants (par exemple avec JAMHacks 6, qui vise un public du secondaire, ou la Conférence canadienne des étudiants en physique) et stagiaires postdoctoraux et pour faire avancer la carrière des professeurs.

Promouvoir les collaborations en participant à des conférences nationales et internationales

L'IQC est toujours à l'affût d'occasions de participer à des conférences nationales et internationales. Ses professeurs ont été invités à prendre la parole à plus de 100 conférences partout dans le monde. Voici quelques conférences scientifiques

auxquelles les membres de l'IQC ont assisté, à titre de conférenciers ou de participants. La liste complète se trouve à l'annexe G (page 91).

- *Single-photon source based on a quantum dot emitting at cesium wavelength* (« Source à photon unique à base de point quantique émettant à la fréquence du césium »), SPIE Photonics West
- *Nanophotonic platforms for quantum optics with atomic ensembles* (« Plateformes nanophotoniques pour l'optique quantique avec ensembles atomiques »), Congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP)
- *Angstrom-scale nuclear magnetic resonance diffraction: a route to atomic resolution magnetic resonance imaging* (« Diffraction de la résonance magnétique nucléaire à l'échelle d'un angström : une voie vers l'imagerie par résonance magnétique de la résolution atomique »), NanoMRI 7, Barcelone, Espagne
- *The Role of Randomized Compiling for Quantum Computing: from NISQ to SEQ* (« Le rôle de la compilation randomisée dans l'informatique quantique : de l'ordinateur quantique imparfait de taille intermédiaire [NISQ] à la correction d'erreurs quantiques [QEC] »), SFB BeyondC, Vienne, Autriche
- *Classical algorithms for Forrelation* (« Algorithmes classiques pour Forrelation »), Los Alamos National Laboratory Summer School on Quantum Computing (en ligne)
- *Trapped Ion Quantum Information Processing Effort at University of Waterloo* (« Traitement de l'information quantique par ions piégés à l'Université de Waterloo »), Université Cornell
- *Precise and programmable individual optical addressing for Yb+ and Ba+ qubits* (« Traitement optique individuel précis et programmable des qubits Yb+ et Ba+ »), North American Conference on Trapped Ions (NACTI), Université Duke
- *Site-selective dissipation and measurement without decohering neighbours in a static ion chain* (« Dissipation et mesure par emplacement sans décohérence d'ions voisins dans une chaîne d'ions statiques »), ETH Zurich
- *Transitioning Quantum Technologies to a Business* (« Transformer les technologies quantiques en occasion d'affaires »), Congrès de l'ACP 2022
- *The quantum internet and why satellites will be needed* (« L'internet quantique et l'importance des satellites »), symposium QIT46
- *The platypus of the quantum channel zoo and their generic nonadditivity* (« L'ornithorynque du zoo des canaux quantiques et sa non-additivité générale »), Réunion d'hiver 2022 de la SMC

- *Landau-Zener tunneling: from weak to strong environment coupling* (« Effet tunnel Landau-Zener : couplage environnemental faible à fort »), APS March Meeting
- *The demonstration of switchable coupling between a two-level system and a waveguide implemented using superconducting systems* (« Démonstration du couplage interchangeable entre un système à deux niveaux et un guide d'ondes mis en place à l'aide de systèmes supraconducteurs »), 6th International Workshop on Quantum Coherence, Control, & Computing
- *Next Challenges in Quantum Simulation* (« Simulation quantique et défis de demain »), APS March Meeting
- *Neutron Interferometry for Metrology* (« Interférométrie des neutrons pour la métrologie »), QSQS 2022
- *Quantum nanophotonic devices for quantum computing, communication, and sensing* (« Dispositifs quantiques nanophotoniques pour l'informatique, la communication et la détection quantiques »), Annual Conference of the IEEE Photonics Society
- *MIP*=RE: what it is and further directions for operator algebraists* (« MIP* = RE : signification et renseignements supplémentaires pour les algébristes d'opérateurs »), MFO, atelier d'Oberwolfach sur les C*-algèbres
- *2D Heterostructures for Broadband Photodetection and Spectroscopy Beyond the Diffraction Limit* (« Hétérostructures en 2D pour la photodétection à large bande et la spectroscopie au-delà de la limite de diffraction »), International Workshop on Quantum Circuits in 2D Materials, Université d'Ottawa
- *Analog Quantum Simulation of Topological Models* (« Simulation de l'analogie quantique de modèles topologiques »), Quantum Information Science for Nuclear Physics, Santa Fe, Nouveau-Mexique
- *Arithmetic of quantum circuits and SIC-POVMs* (« Arithmétique des circuits quantiques et des SIC-POVM »), réunion de lancement de FoQaCiA
- *Quantum state control of ultracold chemistry* (« Contrôle de l'état quantique de la chimie ultrafroide »), conférence Cold Atom Molecule Interactions (CATMIN)
- *L'initiative QFun (Simulations quantiques d'interactions fondamentales)*, événement communautaire à l'Institut Périmètre

Organiser des conférences multidisciplinaires

L'IQC a organisé de nombreuses réunions et conférences multidisciplinaires à l'exercice 2022-2023.

Le Toronto Ultracold Atom Network (TUCAN) est un réseau de recherche sur les atomes ultrafroids en Ontario. Ali Binai-Motlagh et Rajibul Islam, de l'IQC, en ont accueilli les membres le mercredi 18 mai 2022, à l'occasion d'une conférence universitaire aux sujets divers (ions piégés, treillis optiques, condensats de Bose-Einstein) qui a permis



resserrer les liens entre les groupes de recherche sur les atomes ultrafroids de la province.

L'école d'été sur la distribution quantique de clés (DQC), qui présente les approches et les techniques essentielles pour aider les étudiants de cycle supérieur et les jeunes stagiaires postdoctoraux à mener leurs propres recherches indépendantes, a fait son retour en 2022. En plus d'une conférence théorique d'une semaine sur les fondements du milieu universitaire, l'événement comprenait un atelier pratique de trois jours sous forme de projet avec des logiciels de DQC numériques et ouverts. Y ont participé 46 étudiants de cycle supérieur et jeunes stagiaires postdoctoraux de partout en Asie, en Europe et en Amérique du Nord.

L'atelier de trois jours Quantum Innovators (QI) a pour sa part rassemblé les jeunes stagiaires postdoctoraux les plus prometteurs à Waterloo, où ils ont pu réseauter avec leurs pairs et présenter leur recherche à des experts pour affiner leurs talents et leur style de présentation. L'édition de 2022 comportait deux volets. Le premier, s'adressant aux stagiaires en sciences et en génie, s'est déroulé du 3 au 5 octobre. Douze stagiaires postdoctoraux des établissements les plus prestigieux au monde (Harvard, MIT, CNRC, ETC Zurich, Princeton, etc.) se sont rendus à Waterloo pour discuter de leurs travaux avec les professeurs et les étudiants de l'IQC. Du 17 au 19 octobre, le deuxième volet a accueilli 16 stagiaires en informatique et en mathématiques, qui sont venus de partout (Caltech, Centrum Wiskunde & Informatica, Université technique de Munich, Stanford, etc.) pour échanger sur leurs travaux avec la communauté de l'IQC.

L'IQC est ravi de pouvoir à nouveau tenir des conférences multidisciplinaires en personne.

Objectif C

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

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

Activités planifiées :

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

Rayonnement

Grâce à ses événements virtuels et en personne, l'équipe de rayonnement de l'IQC a touché plus de 9 500 personnes cette année, dont plus de 9 000 élèves du primaire et du secondaire et membres du public canadiens. L'équipe a ainsi pu mettre en contexte le vaste enthousiasme que suscite le développement d'un ordinateur quantique dans la presse populaire et la fiction et informer le public.

En plus des visites de développement stratégiques mentionnées plus haut, l'IQC sollicite un grand public en organisant des visites guidées de différents laboratoires du QNC. Cette année, il a accueilli MITACS, EinsteinPlus (atelier pour enseignants), Girls in Quantum, la Conférence canadienne du Gouverneur général sur le leadership, la conférence Collision en visite à Waterloo et divers membres de la communauté locale.

Les professeurs de l'IQC travaillent aussi activement au rayonnement en dehors du milieu universitaire. Notamment, Michele Mosca se fait promoteur d'une cryptographie à l'épreuve des technologies quantiques depuis plusieurs années, ayant compris que certaines données conservent leur valeur des décennies durant. Ses efforts lui ont permis de siéger au *Global Future Council on the Future of the Quantum Economy* du Forum économique mondial et de se rendre à Washington D.C. pour participer à une table ronde à la Maison-Blanche : *Pursuing Quantum Information Together: 2N vs 2N*.



De son côté, Alan Jamison a participé à un panel sur l'avenir de l'informatique quantique dans le contexte du droit de la propriété intellectuelle aux États-Unis, organisé par Holland & Knight.

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

Certains professeurs s'intéressent par ailleurs au potentiel plus global des technologies quantiques; par exemple, Michael Reimer a pris part à un atelier des National Institutes of Health (NIH) sur les applications presque abouties des capteurs quantiques dans les sciences biomédicales.

La plupart des professeurs sont également impliqués dans l'initiative Transformative Quantum Technologies (TQT) du fonds Apogée, dirigée par David Cory (lui-même professeur à l'IQC). Le défi Quantum for Health Design de 2023, qui a permis de financer deux possibles solutions quantiques de soins pour la vue, s'inscrit dans cette initiative.

De plus, les professeurs Matteo Mariani et Adrian Lupascu ont aidé à l'organisation de l'atelier Créer votre propre dispositif quantique supraconducteur avec CMC Microsystems, commandité par Siemens. Cet événement s'adressait aux étudiants canadiens de cycle supérieur et montrait, par un atelier pratique, que la production de dispositifs quantiques n'est pas si loin de la population.

En janvier 2023, Adrian Lupascu a aussi entrepris de travailler avec le Superconducting Quantum Materials and Systems Center (SQMS) du Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab). Le Fermilab possède l'un des plus puissants accélérateurs en Amérique du Nord (surpassé dans le monde seulement récemment par le LHC). Ainsi, l'IQC collabore avec certains des laboratoires les plus influents du monde.

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

Programmes de participation à la science quantique

Undergraduate School on Experimental Quantum Information Processing (USEQIP)

Les programmes comme l'USEQIP ont inspiré d'anciens participants à poursuivre leurs études dans leur établissement d'attache, puis à revenir à l'IQC aux cycles supérieurs. Depuis la création de l'USEQIP en 2009, des dizaines de participants ont suivi cette voie, prouvant l'utilité de tels outils pour le recrutement de grands talents. Selon leurs dires, le programme a pour effet de démystifier les études supérieures et de faire valoir l'IQC comme établissement de choix :

« Un gros merci à toutes les personnes qui ont contribué à l'organisation du programme. J'ai eu beaucoup de plaisir, et je n'ai plus de doutes sur mon choix de carrière. Vraiment super! »

« L'USEQIP m'en a appris beaucoup sur le traitement de l'information quantique et la recherche en milieu universitaire. Ça me sera très utile dans ma future carrière, quelle qu'elle soit! »

« Je commence un stage de recherche sur le refroidissement par laser et les atomes ultrafroids. J'espère pouvoir me joindre au groupe du Pr Jamison plus tard dans mes études. »

En 2022, l'IQC a tenu son programme annuel de l'USEQIP du 30 mai au 10 juin, en personne pour la première fois depuis quelques années. Des étudiants talentueux sont venus de partout en Amérique du Nord, en Europe et en Asie, représentant l'Université technique de Munich, l'Institut indien de technologie de Bombay, le Collège Bryn-Mawr et le Collège Amherst. Le programme comptait aussi des Canadiens de l'Université McGill, l'Université d'Ottawa, l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université Dalhousie et l'Université de Waterloo. Des 266 candidatures, 24 ont été retenues pour ce cours intensif à Waterloo, et 21 des participants sont restés pour la session afin de travailler à titre d'assistants de recherche de premier cycle avec divers professeurs et de gagner une belle expérience auprès de chercheurs de premier plan. Par ailleurs, l'USEQIP a atteint la parité des genres cette année, avec 12 hommes et 12 femmes.

Quantum School for Young Students (QSYS)

En 2022, le programme annuel d'école d'été de la QSYS s'est tenu en deux volets : le premier du 11 au 15 juillet, en formule virtuelle, et le deuxième du 25 au 29 juillet, en personne.

Cette formule double a permis à l'IQC de battre à nouveau son record de participation annuelle, avec 152 élèves inscrits. La deuxième édition virtuelle du programme, en août 2021, avait accueilli 136 participants. L'augmentation de cette année démontre un appétit hors du commun pour la quantique chez les élèves du secondaire et fait foi de la réputation de l'IQC comme institut de calibre mondial pour la recherche scientifique dans le domaine. En plus d'un excellent programme de cours, la QSYS offre un environnement inclusif pour les jeunes, atteignant presque la parité des genres avec 47 % de femmes et de personnes d'autres genres dignes d'équité.

Le volet virtuel a également permis à l'IQC d'étendre sa portée et de se faire connaître d'élèves plus jeunes en Asie, en Afrique, en Amérique du Nord et du Sud et en Europe.

Dans un sondage envoyé aux élèves après l'école d'été, 97 % des répondants ont dit que leur expérience avait été excellente (72 %) ou bonne (25 %), et 100 % encourageraient leur entourage à participer, soit activement (66,7 %) ou si on leur demandait leur opinion (33,3 %). Enfin, 83,6 % des répondants étaient fortement d'accord avec l'affirmation suivante : « La QSYS m'a présenté des idées dont on ne parle pas dans mes cours au secondaire. »

« La QSYS était une occasion extraordinaire d'en apprendre plus sur un sujet intéressant, mais peu connu. C'était une belle façon de m'imprégner de la communauté scientifique... et d'avoir un avant-goût de mon université de rêve : l'Université de Waterloo! »

« J'aurais aimé que la QSYS dure plus longtemps, disons trois ou quatre semaines. »

Schrödinger's Class

L'IQC a organisé son atelier annuel Schrödinger's Class pour les enseignants au niveau secondaire, du 18 au 20 novembre.

Pour son retour en personne en 2022, cet atelier a presque atteint la parité des genres, comptant 19 femmes sur un total de 39 enseignants de physique au niveau secondaire.

Des répondants au sondage de rétroaction, 95 % ont dit qu'ils « recommanderaient activement le programme à des collègues » (90 %) ou le recommanderaient « si on leur demandait leur avis » (5 %). Quant à la possibilité de transmettre l'information à d'autres enseignants, les participants ont dit vouloir propager le contenu du cours à 11 collègues en moyenne.

« J'ai tout adoré. Je sais que ça ne veut pas dire grand-chose, mais c'est la vérité. J'aurais toutefois aimé pouvoir acheter certains équipements de l'IQC au prix coûtant. Les lasers et les polariseurs coûtent cher, surtout pour une petite école au budget science limité comme la mienne. Ce serait bien d'aussi pouvoir acheter des pièces seules ou assorties (surtout celles imprimées en 3D); ce n'est pas tout le monde qui a accès à une imprimante 3D. Un gros merci à tous ceux qui ont contribué à cette expérience extraordinaire. Vous avez mon éternelle reconnaissance! »

« Jonathan était absolument génial. Très généreux de son temps, de ses explications, de son enthousiasme et de son énergie. J'ai adoré la première démonstration où il nous a montré le polariseur à 45 degrés, entre les polariseurs horizontal et vertical. J'ai vraiment aimé l'expérience sur l'effet photoélectrique, la lévitation magnétique par ultra refroidissement, l'expérience avec les interféromètres et l'expérience sur l'incertitude. Je n'ai pas très bien compris la DQC; je suppose que j'ai besoin d'y accorder plus d'attention. Merci aussi à Kim, et à la personne de premier cycle qui épaulait Jonathan et m'a été d'une grande aide. Dans l'ensemble, l'atelier était comme un cadeau pour moi. Vous avez toute ma reconnaissance, vous êtes les meilleurs! »



Présentations publiques

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

Les présentations portaient sur le travail de cinq groupes de recherche de l'IQC, amassant collectivement plus de 5 000 vues en ligne :

- *Bounding the Deviations from Quantum Theory* (« Liaison des déviations de la théorie quantique »), par Michael Grabowecky
- *Noise Limits on Atomic Quantum Control* (« Limites de bruit dans le contrôle quantique des atomes »), par Matthew Day
- *Revealing Spin Structures with Neutron Beams* (« Révélation des structures de spin par faisceaux de neutrons »), par Melissa Henderson
- *Metamaterials for Broadband Light Absorption* (« Métamatériaux pour l'absorption de lumière à large bande »), par Michael Reimer et Sasan V. Grayli
- *New Platforms for Two-Dimensional Electron Gases* (« Nouvelles plateformes pour les gaz d'électrons en deux dimensions »), par Annelise Bergeron, Francois Sfigakis et Jonathan Baugh

À ces présentations sur la recherche en cours à l'IQC vient s'ajouter la série IQC Alum Lectures, qui invite des diplômés de l'établissement à présenter leur recherche et leur parcours professionnel. Ont notamment participé :

- Ben Criger (chercheur postdoctoral à QuTech et enseignant en ligne pour TU Delft Online);
- Urbasi Sinha (professeure du groupe de physique de la lumière et de la matière atomique au Raman Research Institute de Bangalore, en Inde).

Cette année, l'IQC a aussi accueilli deux présentations de nouveaux livres pertinents :

- *Quantum Steampunk: The Physics of Yesterday's Tomorrow*, de Nicole Yunger Halpern, le 17 mai 2022 à la bibliothèque publique de Waterloo
- *Quantum Bullsh*t*, du diplômé de l'IQC Chris Ferrie, le 15 juillet 2022 au QNC

Enfin, John Donohue, gestionnaire principal de la vulgarisation scientifique, a organisé une présentation grand public de soir, le 22 septembre 2022, à la succursale centrale de la bibliothèque publique de Kitchener. Intitulée *Quantum – Separating Science Fiction from Science Fact* (« Science quantique : distinguer fiction et réalité »), cette présentation portait sur la perception populaire de la science quantique.

Visites de classes du secondaire

Cette année encore, l'IQC a organisé des rencontres virtuelles avec des groupes de physique du secondaire de partout au Canada. Pendant ces rencontres, des experts en quantique se joignent virtuellement à une classe pour parler de science et



d'informatique quantiques et répondre aux questions des élèves sur le domaine et les options de carrière en recherche. L'IQC a aussi repris les visites de classes en présentiel, rencontrant plus de 2 400 élèves du secondaire en 84 visites (69 virtuelles et 15 en personne). Malgré l'engouement pour le retour du présentiel, des rencontres virtuelles ont été sollicitées par des enseignants d'aussi loin que la Turquie. Par ailleurs, le niveau primaire a eu droit à 18 visites (dont 15 en personne), durant lesquelles plus de 660 élèves ont pu faire l'expérience de la science quantique. La reprise des expositions en personne a également permis à l'IQC de faire découvrir le domaine aux enfants; des stagiaires postdoctoraux, des étudiants des trois cycles et des spécialistes de la science quantique ont participé à trois de ces expositions (LUMEN, TriCon et le Family Hack Jam de THEMUSEUM), rejoignant plus de 2 600 enfants de tous âges.

Promotion de la science pour les femmes et les filles

En plus de sa collaboration avec la Canadian Association for Girls in Science (CAGIS), l'IQC a organisé plusieurs événements axés sur la promotion de l'équité des genres en STIM auprès de publics variés, notamment : l'atelier PhysiX: Girls Matter – Making Quantum Waves pour préadolescentes à l'Université de Waterloo; les ateliers Women in STEM (WiSTEM) pour les filles du secondaire; et Actions to Advance Equity, Diversity and Inclusion in Science, une discussion générale sur l'équité et la diversité dans les sciences pour la communauté de l'IQC et le grand public animée par Rowan Thompson, doyenne de l'équité, de la diversité et de l'inclusion à l'Université Carleton, et Candice Harrice, assistante de recherche à la même université. Tous ces événements appuient l'IQC dans son objectif de se rapprocher de la parité des genres et de cultiver un environnement inclusif qui propage l'enthousiasme pour les idées partout au pays sans discrimination.

Dans son optique d'équité et de diversité, l'IQC accueille les femmes et les filles avant même qu'elles aient à faire leurs demandes d'admission aux cycles supérieurs, pour leur présenter les programmes de STIM comme une option viable. Il tend aussi vers la parité des genres, ayant admis 49 % de filles et de personnes non binaires à la QSYS (élèves du secondaire), 50 % de femmes à l'USEQIP et 49 % de femmes (enseignantes au niveau secondaire) à l'atelier Schrödinger's Class. En aidant les filles et les femmes à se projeter dans un programme de sciences et technologies de l'informatique quantique, l'IQC espère élargir considérablement son propre bassin de talents et celui des STIM.

Partenariats stratégiques de rayonnement

L'IQC collabore avec des entités comme la bibliothèque publique de Kitchener et THEMUSEUM pour faire la promotion publique d'idées et d'associations du domaine de la quantique. Il entretient aussi une relation avec la CAGIS, WiSTEM et PhysiX et continue de chercher des partenaires privés et à but non lucratif pour promouvoir la science quantique. Son objectif en 2023-2024 sera d'établir de nouveaux partenariats pour renforcer sa qualité de leader de l'avenir quantique au Canada.

Communications

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

Nouvelles et sensibilisation des médias

Chaque année, les membres de l'IQC soumettent leurs résultats de recherche aux médias grand public pour promouvoir les travaux de la communauté. Du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023, l'établissement a été mentionné environ 1 100 fois dans les médias, avec un potentiel cumulatif de 1,2 milliard de vues sur les fils d'actualité.

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

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

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

Réseaux sociaux

Du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023, l'IQC a offert près de 900 publications instructives et engageantes à ses abonnés sur les réseaux sociaux (Twitter, LinkedIn, Facebook et Instagram). Au total, il a reçu 1 053 889 vues, 12 453 interactions et 32 205 participations.

Sur sa chaîne YouTube, il a accumulé près de 205 000 vues et 42 500 heures de temps de visionnage, soit près du double du temps enregistré en 2021-2022.

Dans la dernière année, l'IQC a connu une croissance appréciable sur tous les réseaux sociaux où il est présent. Le tableau ci-dessous présente les chiffres pour la période du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023.

	Nouveaux abonnés	Total actuel	Hausse
YouTube	2 359	26 925	9,6 %
Twitter	2 405	18 869	14,6 %
LinkedIn	7 277	10 932	199,1 %
Facebook	339	5 880	6,1 %
Instagram	246	1 759	16,3 %
TOTAL	12 626	64 365	

Cette croissance soutenue en ligne est un indicateur positif de l'autorité établie par l'IQC dans le domaine.

L'IQC continue de déployer de nouvelles stratégies pour produire du contenu quantique de grande qualité utile à ses abonnés et d'explorer les possibilités des campagnes ciblées et du contenu indémodable. Dès la fin 2022, il a mis en œuvre de nouvelles tactiques pour augmenter sa visibilité sur les réseaux sociaux et stimuler l'intérêt du public, dans une optique de participation, de croissance et de rétention.

Il poursuit ses efforts pour préserver son autorité en quantique et celle du Canada sur la scène internationale ainsi que pour faire valoir l'importance de comprendre, de financer et de développer les sciences et technologies quantiques.

Objectif D

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

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

Activités planifiées :

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

Réseautage entre l'industrie et l'écosystème

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

En date de mars 2023, les chercheurs de l'établissement détenaient collectivement plus de 40 brevets actifs, 30 permis et 2 brevets provisoires (obtenus en 2022-2023). Ses professeurs ont aussi plus de 45 demandes de brevets actifs en attente d'approbation.

La recherche et les technologies novatrices de l'IQC impulsent la fondation de nouvelles entreprises, ce qui a de grandes retombées sur le marché. À ce jour, l'établissement peut se targuer d'avoir entraîné la création de 21 jeunes entreprises encore actives.



Entreprises quantiques dérivées de l'IQC :

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

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

Bien que près de 45 % des chercheurs principaux de l'IQC aient commercialisé leur expertise et leur recherche avec des entreprises dérivées et des brevets, de jeunes entreprises naissent aussi des laboratoires et des esprits des associés de recherche, des stagiaires postdoctoraux et des étudiants de cycle supérieur. Par ailleurs, le mentorat actif des professeurs de l'IQC prend parfois la forme de services-conseils aux entreprises (quantiques ou non), d'encadrement de jeunes diplômés bâtissant une carrière au privé et de collaboration avec des accélérateurs et des centres de développement d'entreprises dans l'écosystème quantique de Waterloo et au-delà.

L'IQC n'est pas sans savoir que les jeunes entreprises quantiques rencontrent des défis uniques pour transposer leurs idées en prototypes, puis en produits viables. Pour les aider, il collabore avec des incubateurs éprouvés, comme le programme Velocity de l'Université de Waterloo et le Creative Destruction Lab. L'utilité des incubateurs et des accélérateurs pour les jeunes entreprises quantiques est explorée plus loin dans le rapport.

De l'idée à la technologie utilitaire

À l'IQC, l'excellence de la recherche va de pair avec l'innovation. Fort d'une riche culture d'entrepreneuriat, l'établissement attire et motive les experts en quantique qui



choisissent de pousser l'aspiration jusqu'au développement de technologies utilitaires. Voici ses plus grandes réussites postpandémie :

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

L'environnement unique de l'IQC alimente un réseau florissant de jeunes entreprises. Voici quelques faits saillants de l'année :

- Transposition des technologies quantiques en applications pour les sciences ophtalmiques, avec comme objectif premier le développement d'un appareil de lumière structurée pour le dépistage précoce de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (Dmitry Pushin, Dusan Sarenac et Connor Kapahi, Incoherent Vision).
- Développement d'une plateforme photonique intégrée en matériau à bande interdite ultra-large pour la conception d'appareils photoniques personnalisables et agiles à longueurs d'ondes visibles. Ces dispositifs permettront la commercialisation de technologies quantiques atomiques portables et la découverte d'autres utilités majeures, par exemple dans les applications du lidar cohérent (Matt Day, GroundState Technologies).
- Développement de matériaux quantiques aux propriétés exotiques pour les dispositifs de traitement de l'information de prochaine génération autres que les électroniques semiconducteurs, résolvant les problèmes critiques de dissipation de l'énergie et ouvrant la voie à de nouvelles fonctions et applications (Alexandre Cooper-Roy, UpScale Quantum Solutions).

Promotion des possibilités offertes par les écosystèmes d'entrepreneuriat

Afin d'assurer à ses chercheurs l'aide et les ressources nécessaires pour commercialiser leurs travaux, l'IQC entretient des partenariats avec des acteurs de l'écosystème quantique de Waterloo et du couloir technologique Waterloo-Toronto pour établir des relations avec différentes parties prenantes.

- Foqus, une jeune entreprise dont nous avons parlé en 2021-2022, tire pleinement parti de l'aide à l'entrepreneuriat offerte à Waterloo et à Toronto.



Ayant réussi le volet quantique du programme du Creative Destruction Lab en 2021, elle a su faire fructifier cette expérience en accélérateur pour devenir membre de MaRS IAF (gestionnaires de fonds d’amorçage), du Programme d’aide à la recherche industrielle (PARI), de Communitech et de Velocity.

- Utilisant aussi l’écosystème de Waterloo à des fins de commercialisation, Incoherent Vision ajoute ses travaux sur le diagnostic des problèmes de la vue et un premier membre de l’École d’optométrie de Waterloo à la multidisciplinarité de l’IQC. L’entreprise participe également au programme pour les fondateurs et à son équivalent hongkongais (par l’entremise de son partenariat avec le Center for Eye and Vision Research de Hong Kong).

En septembre 2022, l’IQC a reçu Janice Vogtle, déléguée commerciale et chef de bureau à Affaires mondiales Canada.

En novembre 2022, il a accueilli Fanny Bousquet, première secrétaire et déléguée commerciale des Pays-Bas, et le lendemain, plusieurs leaders nord-américains des secteurs privé, public et universitaire, dont Tom Jenkins, commissaire pour la Commission trilatérale, et Linda Hasenfratz, chef de la direction de Linamar Corp.

Enfin, en décembre, la direction de l’IQC a participé à un événement de réseautage pour les entreprises et les organisations de technologies quantiques canadiennes, avec des entreprises américaines de premier plan comme AWS (Amazon) et SandboxAQ.

À travers ces rencontres, l’établissement œuvre à promouvoir une culture entrepreneuriale chez ses membres. Grâce à ces efforts, le Canada a pu se hisser au deuxième rang du classement mondial 2022 de McKinsey & Company ([Quantum Technology Monitor](#)) en matière de jeunes entreprises quantiques, une reconnaissance à laquelle l’IQC a fortement contribué.

Le potentiel des technologies quantiques n’est un secret pour personne, et la culture de l’IQC capte l’intérêt de parties nationales et internationales ainsi que du secteur privé; le succès des projets de quantique canadiens est intrinsèquement lié au succès commercial et universitaire de l’IQC.

IQC Canada Inc. : une nouvelle section à but non lucratif pour développer la recherche en quantique

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

Cette section à but non lucratif deviendra le catalyseur de l’appui soutenu du gouvernement fédéral dans la quête de l’IQC pour étendre la recherche quantique au-delà du contexte universitaire. IQC Canada Inc. sera géré par un conseil



d'administration ayant comme principe directeur de favoriser le développement et l'avancement des sciences et technologies de l'informatique quantique à la plus grande échelle internationale et d'accélérer la mise en œuvre des activités principales de l'IQC pour atteindre les résultats espérés et renforcer le leadership mondial.

Renforcement de l'écosystème grâce à la collaboration

L'IQC et IQC Canada Inc. travaillent avec divers partenaires de domaines quantiques et connexes pour contribuer au développement et au perfectionnement de l'industrie quantique canadienne.

L'IQC appuie CMC Microsystems dans sa demande au Programme ontarien des initiatives relatives aux technologies critiques et collabore avec l'entreprise à la fabrication de matériel supraconducteur ainsi qu'à la mise en place d'un banc d'essai en Ontario. CMC Microsystems profite aussi de l'expertise de professeurs de l'IQC, qui siègent à son conseil consultatif scientifique.

CMC offre des services d'informatique quantique et de fabrication de matériel aux chercheurs et aux entreprises du Canada depuis 2022. Son expérience avec la fabrication de dispositifs supraconducteurs, la chaîne d'approvisionnement mondiale, le réseau de la recherche et les services d'accès aux logiciels de conception en font un partenaire idéal pour faciliter l'adoption des technologies de l'IQC dans les petites et moyennes entreprises de la province.

L'IQC est mondialement reconnu pour ses infrastructures expérimentales de fabrication et de caractérisation des dispositifs, des services qu'il espère pouvoir étendre à tous les utilisateurs de CMC. Cette collaboration sera mutuellement bénéfique, car l'IQC pourra aussi tirer avantage des ressources et des services de CMC dans le développement de ses infrastructures et de la recherche fondamentale en matière de dispositifs supraconducteurs.

L'établissement collabore également avec le Quantum Valley Ideas Lab (QVIL) pour faciliter les échanges de talents au moyen de stages spécialisés et coopératifs qui mettront plus d'étudiants au travail – tous cycles confondus – sur des projets propres à l'industrie quantique. Ce partenariat cultivera un fort écosystème de talents mûrs où les diplômés pourront facilement se trouver un emploi.

Le programme de stages de l'IQC offre une expérience professionnelle en contexte de travail réel. Devant user de connaissances en quantique et de pratiques d'affaires concrètes, les diplômés en ressortent plus aptes à reconnaître les défis et à proposer, mettre au point et déployer des solutions novatrices en temps opportun pour permettre aux entreprises quantiques de fleurir et prospérer.

Ces stages de quatre mois faciliteront le flot des talents pour élargir le bassin quantique canadien et renforcer l'écosystème du pays en assurant aux diplômés un éventail d'emplois payants dès la sortie de l'école. Le programme de stages de l'IQC jouera un rôle central dans le développement du bassin de talents et la réponse à la demande croissante de travailleurs hautement qualifiés par les entreprises fondées au QVIL.



L'Université de Waterloo dispose aussi d'un programme des stages coopératifs mondialement reconnu qui offre aux étudiants deux années d'expérience en contexte de travail concret et pertinent pour les aider à développer leur résolution de problèmes et à se bâtir un solide réseau de contacts. En réponse à la demande du marché, l'IQC lancera en partenariat avec trois autres facultés (génie, sciences et mathématiques – y compris l'informatique) à l'Université de Waterloo un programme de spécialisation en quantique au premier cycle.

Ses professeurs donnant déjà des cours de premier cycle, l'IQC est particulièrement bien placé pour former des étudiants qualifiés et intéressés en soutien à l'écosystème du QVIL, dont les options de stages coopératifs spécialisés assureront la pérennité de ce bassin grandissant et mûrissant de diplômés du premier cycle spécialisés. Ce partenariat contribuera à développer l'écosystème de talents formés qui soutiendra l'économie quantique du pays.

Objectif E

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

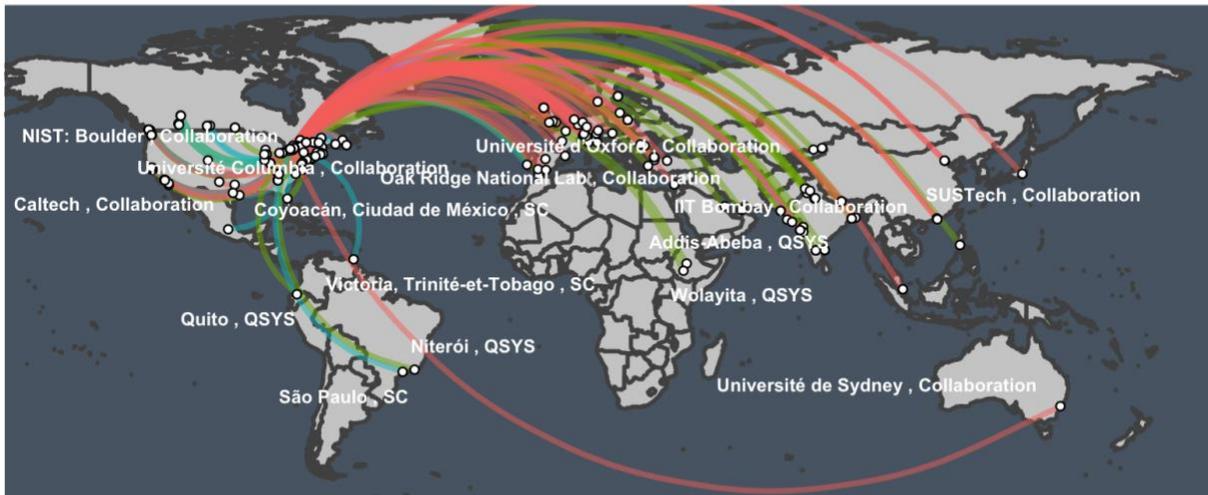
Résultats attendus : Promouvoir le Canada comme carrefour de la recherche sur les technologies quantiques.

Activités planifiées :

- Présenter le Canada à l'international comme un carrefour de la recherche sur les technologies quantiques en participant à des initiatives quantiques mondiales (conférences, discussions, séminaires et autres événements).
- Agir comme catalyseur des collaborations entre les scientifiques en quantique du Canada et du monde.
- Promouvoir les collaborations en participant à des conférences nationales et internationales.
- Voir ses chercheurs s'illustrer comme coauteurs.
- Organiser trois conférences s'adressant à un public multidisciplinaire.
- Continuer d'accueillir des scientifiques et des universitaires de partout dans le monde à l'IQC.

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

Rayonnement et collaborations de l'IQC – 2022



En recherche ou en technologies, l'informatique quantique demeure une science de pointe. Se hissant parmi les meilleurs instituts de recherche en la matière au monde, l'IQC a dû créer sa propre pépinière de talents. En 2022, sa portée est internationale : la carte ci-dessus illustre la provenance des recrues des programmes de rayonnement pédagogique pour cette année. L'IQC exporte la science quantique dans le monde, attirant des talents de partout à Waterloo.

Les programmes de l'IQC ont formé des leaders en quantique provenant des plus prestigieuses universités, leaders qui continuent d'ailleurs de recommander des candidats à l'IQC. Rahul Jain (chercheur principal du Centre for Quantum Technologies de l'Université nationale de Singapour) a effectué un stage postdoctoral de deux ans à l'IQC (2006-2008), après quoi au moins trois des étudiants de cycle supérieur qu'il a encadrés sont venus y effectuer des stages à leur tour : Srijita Kundu (2017-2021), Anurag Anshu (2018-2020) et Priyanka Mukhopadhyay (2018-en cours). Reconnus pour leur excellence universitaire, l'IQC et ses professeurs forment les scientifiques de demain et font du Canada une autorité internationale en matière de recherche et de technologies quantiques.



Agir comme catalyseur des collaborations entre les scientifiques en quantique

En janvier 2023, Raymond Laflamme a été nommé coprésident du conseil consultatif chargé de la Stratégie quantique nationale, dont les objectifs se divisent en trois grands volets :

- Faire du Canada un chef de file mondial dans le développement, le déploiement et l'utilisation soutenus de matériel et de logiciels d'informatique quantique, au profit de l'industrie, des gouvernements et des citoyens canadiens.
- Assurer la protection de la vie privée et la cybersécurité des Canadiens dans un monde axé sur l'informatique quantique grâce à un réseau de communications quantiques national sécurisé et à une initiative de cryptographie post-quantique.
- Permettre au gouvernement du Canada et aux industries clés de développer et d'adopter rapidement les nouvelles technologies de détection quantique.

Si ces objectifs sont familiers, c'est qu'ils ressemblent aux objectifs de l'IQC énoncés à la page 5. Après plus de 15 ans à guider l'IQC dans cette même mission, Raymond Laflamme était la personne toute désignée pour exporter les méthodes de l'établissement dans tout le paysage quantique canadien. Il abonde d'ailleurs dans ce sens : « *J'ai moi-même été aux premières loges des bienfaits de l'écosystème quantique dynamique qui existe dans la région de Waterloo, et j'ai hâte de participer à ce groupe de travail national pour faire naître le même genre de sentiment d'appartenance chez les chercheurs et entreprises du milieu partout au pays.* »

Visiteurs universitaires et scientifiques à long terme

L'IQC reçoit des visiteurs universitaires d'organisations du monde entier. Ces collègues et collaborateurs viennent mener des recherches, collaborer, échanger des connaissances et donner des présentations et restent pour une durée de temps variable. Pleinement remis de la pandémie, l'IQC a cette année accueilli 95 visiteurs représentant de grands centres de recherche internationaux, des entreprises quantiques de pointe, des entités gouvernementales et de jeunes entreprises souhaitant collaborer avec des experts du domaine :

Centres de recherche internationaux	Grandes entreprises	Jeunes entreprises et organisations gouvernementales
Max Planck Institute of Quantum Optics, Allemagne	Google	Craft Prospect Ltd
Université de Toronto	Cambridge Quantum Computing	Conseil national de recherches du Canada
Université Cornell	Lockheed Martin	Université du Texas à Austin
Korea Institute for Advanced Study (KIAS)	Microsoft Research	to.technology
QuSoft (Research Centre for Quantum Software), Pays-Bas	IBM Research	Bluefors Inc.
Massachusetts Institute of Technology	NASA Jet Propulsion Laboratory	Xanadu Computing Technologies



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

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

La liste complète des visiteurs universitaires et scientifiques se trouve à l'annexe H (page 98).

Résumé

Le présent rapport démontre que l'IQC réussit bien à atteindre ses objectifs : depuis le début de sa relation de financement avec ISDE, il définit des cibles ambitieuses qu'il atteint ou dépasse constamment. C'est ce qui lui vaut son statut d'institut de premier plan dans la recherche mondiale en quantique. Avec ses subventions gouvernementales, l'IQC recrute des professeurs mondialement reconnus, publie des travaux fortement cités, offre des programmes novateurs en soutien à l'industrie et génère des retombées économiques directes au pays.

Cette année aura été productive pour l'établissement, qui continue d'attirer les meilleurs talents, de mener la recherche sur les sciences et technologies de l'informatique quantique et de repousser sans cesse les limites des jeunes entreprises et de leurs capacités. L'IQC est l'assise de l'écosystème quantique de la région de Waterloo et un conseiller vers lequel le Canada peut se tourner pour orienter sa vision quantique nationale.

ANNEXES

A. Évaluation et atténuation des risques

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

Facteur de risque	Répercussions	Probabilité	Cote de risque	Justification de la cote	Mesures d'atténuation
Diminution de l'effectif professoral ayant un effet néfaste sur les résultats et la réputation de la recherche	Fortes	Moyenne	8	L'IQC produit de nombreux résultats, ce qui contribue à sa réputation pour l'excellence. La diminution de l'effectif professoral pourrait nuire à sa production et donc à sa réputation, sans compter la capacité de supervision réduite du personnel hautement qualifié.	Continuer d'explorer et de mettre en œuvre de nouvelles approches de collaboration virtuelle. Recruter plus activement pour compenser la concurrence nationale et internationale accrue dans l'embauche de personnel hautement qualifié.
Technologies transformatrices qui réduisent la pertinence des travaux en cours	Fortes	Faible	6	Si les travaux de l'IQC deviennent moins pertinents, le personnel hautement qualifié et les investisseurs tourneront leur attention ailleurs.	Continuer d'orienter les travaux dans des sous-domaines d'actualité en sciences et génie quantiques. Faire participer des autorités en quantique externes au comité consultatif scientifique de l'IQC pour avoir leur avis objectif sur les sujets et le progrès de la recherche. Continuer de collaborer avec des partenaires pour harmoniser la recherche avec les priorités sociétales et les moteurs économiques.



Difficulté à recruter les meilleurs éléments du personnel hautement qualifié	Fortes	Moyenne	8	Le secteur privé et les nouveaux instituts au portefeuille bien garni qui s'intéressent à la science quantique augmentent la concurrence.	Diversifier les marchés et les pays pour le recrutement d'étudiants. Promouvoir l'IQC suffisamment. Assurer l'excellence de la recherche dans un environnement de calibre mondial où le personnel hautement qualifié dispose d'occasions uniques et du soutien d'une communauté inclusive.
--	--------	---------	---	---	--

B. Publications

1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023

1. Gheorghiu, V., Mosca, M., Mukhopadhyay, P. (2022). « A (quasi-)polynomial time heuristic algorithm for synthesizing T-depth optimal circuits », *npj Quantum Information*.
2. Kundu, S., Sikora, J., Tan, E. Y. Z. (2022). « A device-independent protocol for XOR oblivious transfer », *Quantum*.
3. Ng, K. K., Zhang, C., Louko, J., Mann, R. B. (2022). « A little excitement across the horizon », *New Journal of Physics*.
4. Soda, B., Sudhir, V., Kempf, A. (2022). « Acceleration-Induced Effects in Stimulated Light-Matter Interactions », *Physical Review Letters*.
5. Tansuwannont, T., Leung, D. (2022). « Achieving Fault Tolerance on Capped Color Codes with Few Ancillas », *PRX Quantum*.
6. Laflamme, R., Lin, J. N., Mor, T. (2022). « Algorithmic cooling for resolving state preparation and measurement errors in quantum computing », *Physical Review A*.
7. Janzen, N., Kononenko, M., Ren, S., Lupascu, A. (2022). « Aluminum air bridges for superconducting quantum devices realized using a single-step electron-beam lithography process », *Applied Physics Letters*.
8. Anshu, A., Arad, I., Gosset, D. (2022). « An Area Law for 2D Frustration-Free Spin Systems », *Proceedings of the 54th Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing (STOC 2022)*.
9. Kim, Y., Kim, D., Hussey, D. S., Kim, J., Mirzaei, M., Pushin, D. A., Clark, C. W., Lee, S. W. (2022). « Analysis of a silicon comb structure using an inverse Talbot-Lau neutron grating interferometer », *Scientific Reports*.
10. Robbins, M. P. G., Mann, R. B. (2022). « Anti-Hawking phenomena around a rotating BTZ black hole », *Physical Review D*.
11. Bonnetain, X. (2022). « Tight Bounds for Simon’s Algorithm », *Progress In Cryptology – LATINCRYPT 2021*.
12. Abulkasim, H., Goncalves, B., Mashatan, A., Ghose, S. (2022). « Authenticated Secure Quantum-Based Communication Scheme in Internet-of-Drones Deployment », *IEEE Access*.
13. Cerezo, M., Verdon, G., Huang, H. Y., Cincio, L., Coles, P. J. (2022). « Challenges and opportunities in quantum machine learning », *Nature Computational Science*.
14. Tjoa, E., Gallock-Yoshimura, K. (2022). « Channel capacity of relativistic quantum communication with rapid interaction », *Physical Review D*.
15. Bian, X. Y., Chen, Z. X., Sowa, J. K., Evangeli, C., Limburg, B., Swett, J. L., Baugh, J., Briggs, G. A. D., Anderson, H. L., Mol, J. A., Thomas, J. O. (2022). « Charge-State Dependent Vibrational Relaxation in a Single-Molecule Junction », *Physical Review Letters*.
16. Cleve, R., Collins, B., Liu, L., Paulsen, V. (2022). « Constant gap between conventional strategies and those based on C*-dynamics for self-embezzlement », *Quantum*.
17. Gangopadhyay, S., Wang, T. J., Mashatan, A., Ghose, S. (2022). « Controlled quantum teleportation in the presence of an adversary », *Physical Review A*.
18. Khezri, M., Dai, X., Yang, R., Albash, T., Lupascu, A., Lidar, D. A. (2022). « Customized Quantum Annealing Schedules », *Physical Review Applied*.
19. Gunderman, L. G. (2022). « Degenerate local-dimension-invariant stabilizer codes and an alternative bound for the distance preservation condition », *Physical Review A*.
20. Tennant, D. M., Dai, X., Martinez, A. J., Trappen, R., Melanson, D., Yurtalan, M. A., Tang, Y., Bedkhal, S., Yang, R., Novikov, S., Grover, J. A., Disseler, S. M., Basham, J. I., Das, R., Kim, D. K., Melville, A. J., Niedzielski, B. M., Weber, S. J., Yoder, J. L., Kerman, A. J., Mozgunov, E., Lidar, D. A., Lupascu, A. (2022). « Demonstration of long-range correlations via susceptibility measurements in a one-dimensional superconducting Josephson spin chain », *npj Quantum Information*.
21. Robbins, M. P. G., Afshordi, N., Jamison, A. O., Mann, R. B. (2022). « Detection of gravitational waves using parametric resonance in Bose-Einstein condensates », *Classical And Quantum Gravity*.
22. Nayak, A. (2022). « Deterministic Algorithms For The Hidden Subgroup Problem », *Quantum Information and Computation*.
23. Pasharavesh, A., Bajcsy, M. (2022). « Deterministic single-photon subtraction based on bi-exciton transitions of a quantum dot », *Photonics North 2022*.
24. Ghosh, D., Jennewein, T., Sinha, U. (2022). « Direct determination of arbitrary dimensional entanglement monotones using statistical correlators and minimal complementary measurements », *Quantum Science and Technology*.



25. Shah, N. A., Contreras-Astorga, A., Fillion-Gourdeau, F., Ahsan, M. A. H., MacLean, S., Faizal, M. (2022). « Effects of discrete topology on quantum transport across a graphene n-p-n junction: A quantum gravity analog », *Physical Review B*.
26. Iyer, P., Jain, A., Bartlett, S. D., Emerson, J. (2022). « Efficient diagnostics for quantum error correction », *Physical Review Research*.
27. Novodchuk, I., Kayaharman, M., Prassas, I., Soosaipillai, A., Karimi, R., Goldthorpe, I. A., Abdel-Rahman, E., Sanderson, J., Diamandis, E. P., Bajcsy, M., Yavuz, M. (2022). « Electronic field effect detection of SARS-CoV-2 N-protein before the onset of symptoms », *Biosensors and Bioelectronics*.
28. Lovitz, B., Johnston, N. (2022). « Entangled subspaces and generic local state discrimination with pre-shared entanglement », *Quantum*.
29. Mendez-Avalos, D., Henderson, L. J., Gallock-Yoshimura, K., Mann, R. B. (2022). « Entanglement harvesting of three Unruh-DeWitt detectors », *General Relativity and Gravitation*.
30. Maeso-Garcia, H., Perche, T. R., Martin-Martinez, E. (2022). « Entanglement harvesting: Detector gap and field mass optimization », *Physical Review D*.
31. Maeso-Garcia, H., Polo-Gomez, J., Martin-Martinez, E. (2022). « Entanglement harvesting: State dependence and covariance », *Physical Review D*.
32. Pei, T., Thomas, J. O., Sopp, S., Tsang, M. Y., Dotti, N., Baugh, J., Chilton, N. F., Cardona-Serra, S., Gaitarino, A., Anderson, H. L., Bogani, L. (2022). « Exchange-induced spin polarization in a single magnetic molecule junction », *Nature Communications*.
33. Dieguez, P. R., Guimaraes, J. R., Peterson, J. P. S., Angelo, R. M., Serra, R. M. (2022). « Experimental assessment of physical realism in a quantum-controlled device », *Communications Physics*.
34. Sarenac, D., Henderson, M. E., Ekinci, H., Clark, C. W., Cory, D. G., DeBeer-Schmitt, L., Huber, M. G., Kapahi, C., Pushin, D. A. (2022). « Experimental realization of neutron helical waves », *Science Advances*.
35. Daley, P. J., Resch, K. J., Spekkens, R. W. (2022). « Experimentally adjudicating between different causal accounts of Bell-inequality violations via statistical model selection », *Physical Review A*.
36. Mosca, M., Verschoor, S. R. (2022). « Factoring semi-primes with (quantum) SAT-solvers », *Scientific Reports*.
37. Chaiwongkhot, P., Zhong, J. Q., Huang, A. Q., Qin, H., Shi, S. C., Makarov, V. (2022). « Faking photon number on a transition-edge sensor », *EPJ Quantum Technology*.
38. Pashayan, H., Reardon-Smith, O., Korzekwa, K., Bartlett, S. D. (2022). « Fast Estimation of Outcome Probabilities for Quantum Circuits », *PRX Quantum*.
39. Tjoa, E. (2022). « Fermi two-atom problem: Nonperturbative approach via relativistic quantum information and algebraic quantum field theory », *Physical Review D*.
40. Bejanin, J. H., Ayadi, Y., Xu, X., Zhu, C., Mohebbi, H. R., Mariantoni, M. (2022). « Fluctuation Spectroscopy of Two-Level Systems in Superconducting Resonators », *Physical Review Applied*.
41. Larocca, M., Sauvage, F., Sbahi, F. M., Verdon, G., Coles, P. J., Cerezo, M. (2022). « Group-Invariant Quantum Machine Learning », *PRX Quantum*.
42. Houk, A. M., Al Maruf, R., Kim, N. Y., Bajcsy, M. (2022). « Guiding Light in Water-Filled Hollow-Core Photonic-Bandgap Fibers », *Photonics North 2022*.
43. Shen, D. Z., Yang, H. B., Spudat, C., Patel, T., Zhong, S. Z., Chen, F. C., Yan, J., Luo, X., Cheng, M. X., Sciaini, G., Sun, Y. P., Rhodes, D. A., Timusk, T., Zhou, Y. N., Kim, N. Y., Tsen, A. W. (2022). « High-Performance Mid-IR to Deep-UV van der Waals Photodetectors Capable of Local Spectroscopy at Room Temperature », *Nano Letters*.
44. Tjoa, E., Gray, F. (2022). « Holographic reconstruction of asymptotically flat spacetimes », *International Journal of Modern Physics D*.
45. Bravyi, S., Gosset, D., Liu, Y. N. (2022). « How to Simulate Quantum Measurement without Computing Marginals », *Physical Review Letters*.
46. Yang, H. B., Kim, N. Y. (2022). « Large excitons in light-dress », *Nature Materials*.
47. Fourmaux, S., Lassonde, P., Mironov, S. Y., Hallin, E., Legare, F., Maclean, S., Khazanov, E. A., Mourou, G., Kieffer, J. C. (2022). « Laser wakefield acceleration based x ray source using 225-TW and 13-fs laser pulses produced by thin film compression », *Optics Letters*.
48. Ville, J. L., Morvan, A., Hashim, A., Naik, R. K., Lu, M. R., Mitchell, B., Kreikebaum, J. M., O'Brien, K. P., Wallman, J. J., Hincks, I., Emerson, J., Smith, E., Younis, E., Iancu, C., Santiago, D. I., Siddiqi, I. (2022). « Leveraging randomized compiling for the quantum imaginary-time-evolution algorithm », *Physical Review Research*.
49. Day, M. L., Low, P. J., White, B., Islam, R., Senko, C. (2022). « Limits on atomic qubit control from laser noise », *npj Quantum Information*.
50. Perche, T. R. (2022). « Localized nonrelativistic quantum systems in curved spacetimes: A general characterization of particle detector models », *Physical Review D*.
51. Yang, H., Kim, N. Y. (2022). « Microcavity Exciton-Polariton Quantum Spin Fluids », *Advanced Quantum Technologies*.



52. Tjoa, E., Gray, F. (2022). « Modest holography and bulk reconstruction in asymptotically flat spacetimes », *Physical Review D*.
53. Vasmer, M., Kubica, A. (2022). « Morphing Quantum Codes », *PRX Quantum*.
54. Pasek, W. J., Deimert, C., Goulain, P., Manceau, J. M., Colombelli, R., Wasilewski, Z. R. (2022). « Multisubband plasmons: Beyond the parabolicity in the semiclassical model », *Physical Review B*.
55. Bennewitz, E. R., Hopfmueller, F., Kulchytskyy, B., Carrasquilla, J., Ronagh, P. (2022). « Neural Error Mitigation of Near-Term Quantum Simulations », *Nature Machine Intelligence*.
56. Cao, N. P., Xie, J., Zhang, A. N., Hou, S. Y., Zhang, L. J., Zeng, B. (2022). « Neural networks for quantum inverse problems », *New Journal of Physics*.
57. Lovitz, B., Steffan, V. (2022). « New techniques for bounding stabilizer rank », *Quantum*.
58. Scruby, T. R., Vasmer, M., Browne, D. E. (2022). « Non-Pauli errors in the three-dimensional surface code », *Physical Review Research*.
59. Haas, H., Tabatabaei, S., Rose, W., Sahafi, P., Piscitelli, M., Jordan, A., Priyadarsi, P., Singh, N., Yager, B., Poole, P. J., Dalacu, D., Budakian, R. (2022). « Nuclear magnetic resonance diffraction with subangstrom precision », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.
60. Scruby, T. R., Browne, D. E., Webster, P., Vasmer, M. (2022). « Numerical Implementation of Just-In-Time Decoding in Novel Lattice Slices Through the Three-Dimensional Surface Code », *Quantum*.
61. Wang, W. Y., Lutkenhaus, N. (2022). « Numerical security proof for the decoy-state BB84 protocol and measurement-device-independent quantum key distribution resistant against large basis misalignment », *Physical Review Research*.
62. Girard, M., Leung, D., Levick, J., Li, C. K., Paulsen, V., Poon, Y. T., Watrous, J. (2022). « On the Mixed-Unitary Rank of Quantum Channels », *Communications in Mathematical Physics*.
63. Leditzky, F. (2022). « Optimality of the pretty good measurement for port-based teleportation », *Letters In Mathematical Physics*.
64. Jena, A., Genin, S. N., Mosca, M. (2022). « Optimization of variational-quantum-eigensolver measurement by partitioning Pauli operators using multiqubit Clifford gates on noisy intermediate-scale quantum hardware », *Physical Review A*.
65. Andriamirado, M., Balantekin, A. B., Band, H. R., Bass, C. D., Bergeron, D. E., Bowden, N. S., Bryan, C. D., Carr, R., Classen, T., Conant, A. J., Deichert, G., Delgado, A., Diwan, M. V., Dolinski, M. J., Erickson, A., Foust, B. T., Gaison, J. K., Galindo-Uribari, A., Gilbert, C. E., Grant, C., Hans, S., Hansell, A. B., Heeger, K. M., Heffron, B., Jaffe, D. E., Jayakumar, S., Ji, X., Jones, D. C., Koblanski, J., Kunkle, P., Kyzylova, O., Lane, C. E., Langford, T. J., LaRosa, J., Littlejohn, B. R., Lu, X., Maricic, J., Mendenhall, M. P., Meyer, A. M., Milincic, R., Mueller, P. E., Mumm, H. P., Napolitano, J., Neilson, R., Nikkel, J. A., Nour, S., Palomino, J. L., Pushin, D. A., Qian, X., Rosero, R., Searles, M., Surukuchi, P. T., Tyra, M. A., Varner, R. L., Venegas-Vargas, D., Weatherly, P. B., White, C., Wilhelmi, J., Woolverton, A., Yeh, M., Zhang, C., Zhang, X. (2022). « PROSPECT-II physics opportunities », *Journal of Physics G-Nuclear and Particle Physics*.
66. Ponosova, A., Ruzhitskaya, D., Chaiwongkhot, P., Egorov, V., Makarov, V., Huang, A. Q. (2022). « Protecting Fiber-Optic Quantum Key Distribution Sources against Light-Injection Attacks », *PRX Quantum*.
67. Boivin, F., Vallieres, S., Fourmaux, S., Payeur, S., Antici, P. (2022). « Quantitative laser-based x-ray fluorescence and particle-induced x-ray emission », *New Journal of Physics*.
68. Sepehry, B., Iranmanesh, E., Friedlander, M. P., Ronagh, P. (2022). « Quantum algorithms for structured prediction », *Quantum Machine Intelligence*.
69. Bostanci, J., Watrous, J. (2022). « Quantum game theory and the complexity of approximating quantum Nash equilibria », *Quantum*.
70. Bravyi, S., Chowdhury, A., Gosset, D., Wocjan, P. (2022). « Quantum Hamiltonian complexity in thermal equilibrium », *Nature Physics*.
71. Baumbach, A., Klassert, R., Garttner, M., Czischek, S., Petrovici, M. A. (2022). « Quantum many-body states: A novel neuromorphic application », *Proceedings of the 2022 Annual Neuro-Inspired Computational Elements Conference (NICE 2022)*.
72. Tjoa, E. (2022). « Quantum teleportation with relativistic communication from first principles », *Physical Review A*.
73. Peters, E., Shyamsundar, P., Li, A. C. Y., Perdue, G. (2022). « Qubit Assignment Using Time Reversal », *PRX Quantum*.
74. Li, X. K., Su, J., Li, Z. H., Zhao, Z. Q., Zhang, F. L., Zhang, L. Q., Ye, W. N., Li, Q. H., Wang, K., Wang, X., Li, H. S., Hu, H., Yan, S. S., Miao, G. X., Li, Q. (2022). « Revealing interfacial space charge storage of Li⁺/Na⁺/K⁺ by operando magnetometry », *Science Bulletin*.
75. Hu, H., Im, J., Lin, J., Lutkenhaus, N., Wolkowicz, H. (2022). « Robust Interior Point Method for Quantum Key Distribution Rate Computation », *Quantum*.
76. Giacomini, F., Kempf, A. (2022). « Second-quantized Unruh-DeWitt detectors and their quantum reference frame transformations », *Physical Review D*.



77. Tekcan, B., van Kasteren, B., Grayli, S. V., Shen, D. Z., Tam, M. C., Ban, D. Y., Wasilewski, Z., Tsen, A. W., Reimer, M. E. (2022). « Semiconductor nanowire metamaterial for broadband near-unity absorption », *Scientific Reports*.
78. Al Maruf, R., Venuturumilli, S. S., Bharadwaj, D., Anderson, P., Qiu, J. W., Yuan, Y. J., Semnani, B., Malik, S., Zeeshan, M., Dalacu, D., Poole, P., Reimer, M., Bajcsy, M. (2022). « Single-photon source based on a quantum dot emitting at caesium wavelength », *Optical and Quantum Sensing and Precision Metrology II*.
79. Kubica, A., Vasmer, M. (2022). « Single-shot quantum error correction with the three-dimensional subsystem toric code », *Nature Communications*.
80. Perche, R., Shalabi, A. (2022). « Spacetime curvature from ultrarapid measurements of quantum fields », *Physical Review D*.
81. Ashhab, S., Yoshihara, F., Fuse, T., Yamamoto, N., Lupascu, A., Semba, K. (2022). « Speed limits for two-qubit gates with weakly anharmonic qubits », *Physical Review A*.
82. Feng, G. R., Hou, S. Y., Zhou, H. Y., Shi, W., Yu, S., Sheng, Z. K., Rao, X., Ma, K. H., Chen, C. X., Ren, B., Miao, G. Z., Xiang, J. G., Zeng, B. (2022). « SpinQ Triangulum: A Commercial Three-Qubit Desktop Quantum Computer », *IEEE Nanotechnology Magazine*.
83. Gheorghiu, V., Mosca, M., Mukhopadhyay, P. (2022). « T-count and T-depth of any multi-qubit unitary », *npj Quantum Information*.
84. Grier, D., Brod, D. J., Arrazola, J. M., Alonso, M. B. D., Quesada, N. (2022). « The Complexity of Bipartite Gaussian Boson Sampling », *Quantum*.
85. Mohageg, M., Mazzarella, L., Anastopoulos, C., Gallicchio, J., Hu, B. L., Jennewein, T., Johnson, S., Lin, S. Y., Ling, A. D., Marquardt, C., Meister, M., Newell, R., Roura, A., Schleich, W. P., Schubert, C., Strelak, D. V., Vallone, G., Villoresi, P., Worner, L., Yu, N., Zhai, A. L., Kwiat, P. (2022). « The deep space quantum link: prospective fundamental physics experiments using long-baseline quantum optics », *EPJ Quantum Technology*.
86. Wang, Q. H., Bedoya-Pinto, A., Blei, M., Dismukes, A. H., Hamo, A., Jenkins, S., Koperski, M., Liu, Y., Sun, Q. C., Telford, E. J., Kim, H. H., Augustin, M., Vool, U., Yin, J. X., Li, L. H., Falin, A., Dean, C. R., Casanova, F., Evans, R. F. L., Chshiev, M., Mishchenko, A., Petrovic, C., He, R., Zhao, L. Y., Tsen, A. W., Gerardot, B. D., Brotons-Gisbert, M., Guguchia, Z., Roy, X., Tongay, S., Wang, Z. W., Hasan, M. Z., Wrachtrup, J., Yacoby, A., Fert, A., Parkin, S., Novoselov, K. S., Dai, P. C., Balicas, L., Santos, E. J. G. (2022). « The Magnetic Genome of Two-Dimensional van der Waals Materials », *ACS Nano*.
87. Wen, R. Y., Kempf, A. (2022). « The transfer of entanglement negativity at the onset of interactions », *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*.
88. Goulain, P., Deimert, C., Jeannin, M., Bousseksou, A., Pasek, W. J., Wasilewski, Z. R., Colombelli, R., Manceau, J. M. (2022). « THz ultra-strong light-matter coupling up to 200K with continuously-graded parabolic quantum wells embedded in microcavities », *2022 47th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2022)*.
89. Schmid, D., Du, H. X., Selby, J. H., Pusey, M. F. (2022). « Uniqueness of Noncontextual Models for Stabilizer Subtheories », *Physical Review Letters*.
90. Xia, Q. T., Li, X. K., Wang, K., Li, Z. H., Liu, H. J., Wang, X., Ye, W. N., Li, H. S., Teng, X. L., Pang, J. B., Zhang, Q. H., Ge, C., Gu, L., Miao, G. X., Yan, S. S., Hu, H., Li, Q. (2022). « Unraveling the Evolution of Transition Metals during Li Alloying–Dealloying by In-Operando Magnetometry », *Chemistry Of Materials*.
91. Barcelo, C., Boyanov, V., Garay, L. J., Martin-Martinez, E., Velazquez, J. M. S. (2022). « Warp drive aerodynamics », *Journal of High Energy Physics*.
92. Zhao, X. Y., Shen, D. Z., Duley, W. W., Tan, C. W., Zhou, Y. N. (2022). « Water-Enabled Electricity Generation: A Perspective », *Advanced Energy and Sustainability Research*.
93. Park, J. J., Lu, Y. K., Jamison, A. O., Tschersbul, T. V., Ketterle, W. (2023). « A Feshbach resonance in collisions between triplet ground-state molecules », *Nature*.
94. Shlosberg, A., Jena, A. J., Mukhopadhyay, P., Haase, J. F., Leditzky, F., Dellantonio, L. (2023). « Adaptive estimation of quantum observables », *Quantum*.
95. Azer, B. B., Gulsaran, A., Pennings, J. R., Karimi, R., Belgabad, A. A., Xu, A. H., Zaidan, L., Kocer, S., Sanderson, J., Bajcsy, M., Pope, M. A., Yavuz, M. (2023). « Core-shell defective TiO₂ nanoparticles by femtosecond laser irradiation with enhanced photocatalytic performance », *Materials Advances*.
96. Azer, B. B., Gulsaran, A., Pennings, J. R., Karimi, R., Belgabad, A. A., Xu, A. H., Zaidan, L., Kocer, S., Sanderson, J., Bajcsy, M., Pope, M. A., Yavuz, M. (2023). « Core-shell defective TiO₂ nanoparticles by femtosecond laser irradiation with enhanced photocatalytic performance », *Materials Advances*, vol. 4, p. 1403.
97. Kaplanek, G., Tjoa, E. (2023). « Effective master equations for two accelerated qubits », *Physical Review A*.
98. Kubica, A., Delfosse, N. (2023). « Efficient color code decoders in $d = 2$ dimensions from toric code decoders », *Quantum*.

99. Samaan, M., Ekinci, H., Dey, R., Zhu, X. L., Pushin, D., Cui, B. (2023). « Fabrication of high aspect ratio atomic force microscope probes using focused ion beam milled etch mask », *Microelectronic Engineering*.
100. Kotibhaskar, N., Greenberg, N., Motlakunta, S., Shih, C. Y., Islam, R. (2023). « Fast and high-yield fabrication of axially symmetric ion-trap needle electrodes via two step electrochemical etching », *Review of Scientific Instruments*.
101. Kapahi, C., Sarenac, D., Bleuel, M., Cory, D. G., Heacock, B., Henderson, M. E., Huber, M. G., Taminiau, I., Pushin, D. (2023). « High-Transmission Neutron Optical Devices Utilizing Micro-Machined Structures », *Quantum Beam Science*.
102. Liu, M. L., Kanitschar, F., Arqand, A., Tan, E. Y. Z. (2023). « Lipschitz continuity of quantum-classical conditional entropies with respect to angular distance and related properties », *Physical Review A*.
103. Ruskai, M. B., Yard, J. (2023). « Local additivity revisited », *Journal of Mathematical Physics*.
104. Moorthy, A. J., Gunderman, L. G. (2023). « Local-dimension-invariant Calderbank-Shor-Steane codes with an improved distance promise », *Quantum Information Processing*.
105. Shalabi, A., Henderson, L. J., Mann, R. B. (2023). « Locally detecting UV cutoffs on a sphere with particle detectors », *Physical Review D*.
106. Cameron, A. R., Proud, A. J., Pearson, J. K. (2023). « Machine Learned Composite Methods for Electronic Structure Theory », *Journal of Chemical Theory and Computation*.
107. Yang, B. W., Goh, Y. M., Sung, S. H., Ye, G. H., Biswas, S., Kaib, D. A. S., Dhakal, R., Yan, S. H., Li, C. H., Jiang, S. W., Chen, F. C., Lei, H. C., He, R., Valenti, R., Winter, S. M., Hovden, R., Tsen, A. W. (2023). « Magnetic anisotropy reversal driven by structural symmetry-breaking in monolayer alpha-RuCl₃ », *Nature Materials*.
108. Ishtiak, M. O., Colebatch, O., Le Bris, K., Godin, P. J., Strong, K. (2023). « Measurements of perfluoro-n-heptane and perfluoro-n-octane absorption cross-sections from 300 to 350 K », *Journal of Molecular Spectroscopy*.
109. Philip, A., Kaur, E., Bierhorst, P., Wilde, M. M. (2023). « Multipartite Intrinsic Non-Locality and Device-Independent Conference Key Agreement », *Quantum*.
110. Majidy, S., Lasek, A., Huse, D. A., Halpern, N. Y. (2023). « Non-Abelian symmetry can increase entanglement entropy », *Physical Review B*.
111. Zjawin, B., Schmid, D., Hoban, M. J., Sainz, A. B. (2023). « Quantifying EPR: the resource theory of nonclassicality of common-cause assemblages », *Quantum*.
112. Brannan, M., Hamidi, M., Ismert, L., Nelson, B., Wasilewski, M. (2023). « Quantum edge correspondences and quantum Cuntz-Krieger algebras », *Journal of the London Mathematical Society – Second Series*.
113. Primaatmaja, I. W., Goh, K. T., Tan, E. Y. Z., Khoo, J. T. F., Ghorai, S., Lim, C. (2023). « Security of device-independent quantum key distribution protocols: a review », *Quantum*.
114. Kan, A., Nam, Y. (2023). « Simulating lattice quantum electrodynamics on a quantum computer », *Quantum Science and Technology*.
115. Li, Z. H., Liu, H. J., Zhao, Z. Q., Zhang, Q. H., Fu, X. K., Li, X. K., Gu, F. C., Zhong, H., Pan, Y. Y., Chen, G. H., Li, Q. H., Li, H. S., Chen, Y. X., Gu, L., Jin, K. J., Yan, S. S., Miao, G. X., Ge, C., Li, Q. (2023). « Space-Charge Control of Magnetism in Ferromagnetic Metals: Coupling Giant Magnitude and Robust Endurance », *Advanced Materials*.
116. Patel, T., Tsen, A. W. (2023). « Stress testing the bulk photovoltaic effect », *Nature Nanotechnology*.
117. Brannan, M., Harris, S. J., Todorov, I. G., Turowska, L. (2023). « Synchronicity for quantum non-local games », *Journal of Functional Analysis*.
118. Cao, L., McLaren, D., Plosker, S. (2023). « The complete positivity of symmetric tridiagonal and pentadiagonal matrices », *Special Matrices*.
119. Sadeghi, I., Pofelski, A., Farkhondeh, H., Fernandez-Delgado, N., Tam, M. C., Leung, K. T., Botton, G. A., Wasilewski, Z. R. (2022). « Atomically Smooth Defect-Free III-As Heterostructures on InP(111) Substrate for Next-Generation Electronic Devices », *ACS Applied Nano Materials*.
120. Ghosh, S., Watrous, J. (2022). « Complexity Limitations on One-turn Quantum Refereed Games », *Theory of Computing Systems*.
121. Azer, B. B., Gulsaran, A., Pennings, J. R., Karimi, R., Belgabad, A. A., Xu, A. H., Zaidan, L., Kocer, S., Sanderson, J., Bajcsy, M., Pope, M. A., Yavuz, M. (2023). « Core-shell defective TiO₂ nanoparticles by femtosecond laser irradiation with enhanced photocatalytic performance », *Materials Advances*, vol. 4, p. 1927.
122. Zutt, N. (2023). « Cosmic analogies: How natural systems emulate the universe », *Contemporary Physics*.
123. Brannan, M., Elzinga, F., Harris, S. J., Yamashita, M. (2023). « Crossed Product Equivalence of Quantum Automorphism Groups of Finite Dimensional C*-Algebras », *International Mathematics Research Notices*.
124. Cheng, M. X., Zhong, S. Z., Rivas, N., Dekker, T., Petruk, A. A., Gicala, P., Pichugin, K., Chen, F. C., Luo, X., Sun, Y. P., Tsen, A. W., Sciaini, G. (2022). « Persistent Photogenerated State Attained by Femtosecond Laser Irradiation of Thin Ta-MoTe₂ », *Journal of Physical Chemistry C*.



125. Bindel, N., McCarthy, S. (2022). « The Need for Being Explicit: Failed Attempts to Construct Implicit Certificates from Lattices », *Computer Journal*.
126. Goulain, P., Deimert, C., Jeannin, M., Pirotta, S., Pasek, W. J., Wasilewski, Z., Colombelli, R., Manceau, J. M. (2023). « THz Ultra-Strong Light-Matter Coupling up to 200 K with Continuously-Graded Parabolic Quantum Wells », *Advanced Optical Materials*.
127. Kan, A., Funcke, L., Kühn, S., Dellantonio, L., Zhang, J., Haase, J. F., Muschik, C. A., Jansen, K. (2022). « 3+1D θ -Term on the Lattice from the Hamiltonian Perspective », *Proceedings of Science*.
128. Yuan, Y., Venuturumilli, S. S., Li, M., Kuru, S., Anderson, P., Maruf, R. A., Semnani, B., Bajcsy, M. (2022), « A compact setup for broadband polarization tomography », *2022 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2022) – Proceedings*.
129. Sidhu, J. S., Joshi, S. K., Gündoğan, M., Brougham, T., Lowndes, D., Mazzarella, L., Krutzik, M., Mohapatra, S., Dequal, D., Vallone, G., Villoresi, P., Ling, A., Jennewein, T., Mohageg, M., Rarity, J. G., Fuentes, I., Pirandola, S., Oi, D. K. L. (2022). « Advances in space quantum communications », *IET Quantum Communication*.
130. Chen, H., Vasmer, M., Breuckmann, N. P., Grant, E. (2022). « Automated discovery of logical gates for quantum error correction », *IET Quantum Information and Computation*.
131. Godin, P. J., Wu, W., Tannous, R., Moffat, B., Jennewein, T. (2022). « Birefringence Compensation from Polarization Maintaining Fiber Pairs », *2022 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2022) – Proceedings*.
132. Mohammadi, K., Lee, Y. S., Jennewein, T. (2022). « Characterization of Optical Aberrations with Scanning Pentaprism for Large Collimators », *2022 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2022) – Proceedings*.
133. Balonin, N. A., Đoković, D. Ž. (2023). « Conference matrices from Legendre C-pairs [Конференц-матрицы на основе C-пар Лежандра] », *Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy*.
134. Bank, E., Camacho-Navarro, C., Eisenträger, K., Morrison, T., Park, J. (2022), « Cycles in the Supersingular ℓ -Isogeny Graph and Corresponding Endomorphisms », *Association for Women in Mathematics Series*.
135. Tannous, R., Wu, W., Vinet, S., Perumangatt, C., Sinar, D., Ling, A., Jennewein, T. (2022). « Demonstration of Reference Frame Independent Time Bin Quantum Key Distribution », *2022 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2022) – Proceedings*.
136. Kubica, A., Delfosse, N. (2023). « Efficient color code decoders in $d \geq 2$ dimensions from toric code decoders », *Quantum*.
137. Henderson, L. J., Ding, S. Y., Mann, R. B. (2022). « Entanglement harvesting with a twist », *AVS Quantum Science*.
138. Bergeron, E. A., Sfigakis, F., Shi, Y., Nichols, G., Klipstein, P. C., Elbaroudy, A., Walker, S. M., Wasilewski, Z. R., Baugh, J. (2022). « Field effect two-dimensional electron gases in modulation-doped InSb surface quantum wells », *Applied Physics Letters*.
139. Powell, J., Payeur, S., Fourmaux, S., Vallières, S., Lassonde, P., Ibrahim, H., Kieffer, J. C., MacLean, S., Légaré, F. (2022). « Generating Electron Beams exceeding 100 keV by Direct Laser Acceleration using Longitudinal Electric Fields », *Optics InfoBase Conference Papers*.
140. Islam, R., Li, P., Beg, M., Sachdev, M., Miao, G.-X. (2023). « Helimagnet-based nonvolatile multi-bit memory units », *Applied Physics Letters*.
141. Maeso-García, H., Polo-Gómez, J., Martín-Martínez, E. (2023). « How measuring a quantum field affects entanglement harvesting », *Physical Review D*.
142. LaRose, R., Mari, A., Kaiser, S., Karalekas, P. J., Alves, A. A., Czarnik, P., El Mandouh, M., Gordon, M. H., Hindy, Y., Robertson, A., Thakre, P., Wahl, M., Samuel, D., Mistri, R., Tremblay, M., Gardner, N., Stemen, N. T., Shammah, N., Zeng, W. J. (2022). « Mitiq: A software package for error mitigation on noisy quantum computers », *Quantum*.
143. Yang, H., Kim, N. Y. (2022). « Multi-wavelength stepping wedge cavity design for a mixed chirality single-walled carbon nanotube film », *Optics InfoBase Conference Papers*.
144. Philip, A., Kaur, E., Bierhorst, P., Wilde, M. M. (2023). « Multipartite Intrinsic Non-Locality and Device-Independent Conference Key Agreement », *Quantum*.
145. Schliif, A., Lunts, P., Lee, S.-S. (2022). « Noncommutativity between the low-energy limit and integer dimension limits in the ϵ expansion: A case study of the antiferromagnetic quantum critical metal », *Physical Review B*.
146. Cooper, A., Maaz, S., Mouawad, A. E., Nishimura, N. (2022). « Parameterized Complexity of Reconfiguration of Atoms », *Lecture Notes in Computer Science (y compris les sous-séries Lecture Notes in Artificial Intelligence et Lecture Notes in Bioinformatics)*.
147. Podmore, H., D'Souza, I., Cain, J., Jennewein, T., Higgins, B. L., Lee, Y. S., Koujelev, A., Hudson, D., McColgan, A. (2022). « QKD terminal for Canada's Quantum Encryption and Science Satellite (QEYSSat) », *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*.

148. Brannan, M., Eifler, K., Voigt, C., Weber, M. (2022). « Quantum Cuntz-Krieger algebras », *Transactions of the American Mathematical Society Series B*.
149. Awschalom, D. D., Du, C. R., He, R., Joseph Heremans, F., Hoffmann, A., Hou, J., Kurebayashi, H., Li, Y., Liu, L., Novosad, V., Sklenar, J., Sullivan, S. E., Sun, D., Tang, H., Tyberkevych, V., Trevillian, C., Tsen, A. W., Weiss, L. R., Zhang, W., Zhang, X., Zhao, L., Zollitsch, C. H. W. (2022). « Quantum Engineering With Hybrid Magnonic Systems and Materials », *IEEE Transactions on Quantum Engineering*.
150. Chiavazzo, S., Sørensen, A. S., Kyriienko, O., Dellantonio, L. (2023). « Quantum manipulation of a two-level mechanical system », *Quantum*.
151. Sajeed, S., Balaji, B., Kirillova, A., Jennewein, T. (2023). « Quantum sensing: target detection with coherence », *Digest of Technical Papers – IEEE International Conference on Consumer Electronics*.
152. Cameron, A. R., Cheng, S. W. L., Schwarz, S., Kapahi, C., Sarenac, D., Grabowecky, M., Cory, D. G., Jennewein, T., Pushin, D. A., Resch, K. J. (2022). « Remotely prepared structured wave lattices », *Optics InfoBase Conference Papers*.
153. Perche, T. R., Martín-Martínez, E. (2023). « Role of quantum degrees of freedom of relativistic fields in quantum information protocols », *Physical Review A*.
154. Henderson, M. E., Bleuel, M., Beare, J., Cory, D. G., Heacock, B., Huber, M. G., Luke, G. M., Pula, M., Sarenac, D., Sharma, S., Smith, E. M., Zhernenkov, K., Pushin, D. A. (2022). « Skyrmion alignment and pinning effects in the disordered multiphase skyrmion material Co8Zn8Mn4 », *Physical Review B*.
155. Đoković, D. Ž. (2022). « Some new symmetric Hadamard matrices [Некоторые новые симметричные матрицы Адамара] », *Informacionno-Upravliaiushchie Sistemy*.
156. Brannan, M., Ganesan, P., Harris, S. J. (2022). « The quantum-to-classical graph homomorphism game », *Journal of Mathematical Physics*.
157. Stebila, D., Theriault, N. (2022). « Unified point addition formulæ and side-channel attacks », *Lecture Notes in Computer Science* (y compris les sous-séries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* et *Lecture Notes in Bioinformatics*).
158. Kaur, E., Horodecki, K., Das, S. (2022). « Upper Bounds on Device-Independent Quantum Key Distribution Rates in Static and Dynamic Scenarios », *Physical Review Applied*.
159. Jolly, S. W., Vallières, S., Fillion-Gourdeau, F., MacLean, S. (2022). « Vacuum laser acceleration with arbitrarily aberrated ultrashort vector beams », *Optics InfoBase Conference Papers*.
160. Naeem, M., Gallock-Yoshimura, K., Mann, R. B. (2023). « Mutual information harvested by uniformly accelerated particle detectors », *Physical Review D*.
161. Gray, F., Kubiznak, D., Perche, T. R., Redondo-Yuste, J. (2023). « Carrollian motion in magnetized black hole horizons », *Physical Review D*.
162. Rodriguez-Briones, N. A., Katiyar, H., Martín-Martínez, E., Laflamme, R. (2023). « Experimental Activation of Strong Local Passive States with Quantum Information », *Physical Review Letters*.

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

Professeurs

Michal Bajcsy
Jonathan Baugh
Raffi Budakian
Shalev Ben-David
Richard Cleve
David Cory
Joseph Emerson
David Gosset
Alan Jamison
Thomas Jennewein
Na Young Kim
Raymond Laflamme
Debbie Leung

Professeurs adjoints en recherche

Pooya Ronagh
Francoise Sfigakis

Associés de recherche

Brendon Higgins
Dusan Sarenac
Kimia Mohammadi
Vinodh Raj Rajagopal Muthu
Alexandre Cooper-Roy
Nigar Sultana
Sadegh Raeisi
Goutam Tamvada

Adrian Lupascu
Norbert Lütkenhaus
Matteo Mariani
Guo-Xing Miao
Michele Mosca
Christine Muschik
Ashwin Nayak
Dmitry Pushin
K. Rajibul Islam
Michael Reimer
Graeme Smith
Kevin Resch
Crystal Senko
William Slofstra
Adam Wei Tsen
Christopher Wilson
Jon Yard

Vinodh Raj Rajagopal Muthu
Joanna Krynski
Goutam Tamvada
Geovandro Pereira
Behrooz Semnani
Armin Jamshidpey
Matthew Day
Kimia Mohammadi
Joanna Krynski
Dmitry Akhmetzyanov
Brian Neill
Yasar Atas
George Nichols

D. Collaborations : du 1^{er} avril 2022 au 31 mars 2023

Professeur	Entreprise ou établissement
Michal Bajcsy	Martin Houde, Université Western, Canada
	E. Diamantis, Ph. D., et I. Prassas, Ph. D., Hôpital Mont-Sinaï, Canada
	P. Poole, Ph. D., et D. Dalacu, Ph. D., Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Fetah Benabid, Institut de recherche XLIM à Limoges, France
	Philippe Tassin, Université de technologie de Chalmers, Suède
	P ^r Konstantinos Lagoudakis, Université de Strathclyde, Royaume-Uni
	P ^r Arka Majumdar, Université de Washington, États-Unis
	RETEGO Labs, États-Unis
Jon Baugh	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Brian Kennedy, président (Guelph), Kennedy Labs (production de matériel 2D et de dispositifs connexes), Canada
	P ^r Bhaskaran Muralidharan (collaboration en recherche), Département de génie électrique, Institut indien de technologie de Bombay, Inde
	P ^r Aharon Blank, programme de recherche conjointe de Technion financé par la Gerald Schwartz & Heather Reisman Foundation, Technion – Institut de technologie d’Israël, Israël
	Groupe de P ^r Andrew Briggs, Département des matériaux, Université Oxford, Royaume-Uni
	P ^{re} Chandni Usha, Département d’instrumentation et de physique appliquée, Indian Institute of Science (IISc) Bangalore, Inde
Raffi Budakian	Dan Dalacu, Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Martino Poggio, Université de Basel, Suisse
David Cory	Quantum Valley Ideas Lab, Canada
	Quantum Science Center, États-Unis
Joseph Emerson	Subvention de l’Army Research Office des États-Unis avec l’Université d’Innsbruck comme principal collaborateur, Autriche
	Université de Sydney, Australie
	Université de Madrid, Espagne
David Gosset	Université d’Aachen, Allemagne
	Institut Périmètre, Canada
	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), Canada
	Anurag Anshu, Université Harvard, États-Unis
	IBM Research, États-Unis
Rajibul Islam	Army Research Office, États-Unis
	Institut Périmètre, Waterloo, Canada
	Crystal Senko, Université de Waterloo, Canada
	Sougato Bose, Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni
	Zhexuan Gong, Colorado School of Mines, États-Unis
	James Freericks, Université de Georgetown, États-Unis
Arnab Das, Indian Association for the Cultivation of Science, Kolkata, Inde	



	Asmi Haldar, Max Planck Institute, Allemagne
Alan Jamison	David DeMille, Université de Chicago, REDRUM (Researching Electric Dipoles with Radioactive Ultracold Molecules), États-Unis
	Argonne National Laboratory, REDRUM, États-Unis
	TRIUMF, Université de la Colombie-Britannique (REDRUM), Canada
	Ketterle Lab, États-Unis
Thomas Jennewein	Université d’Innsbruck, Autriche
	Université de Vienne, Autriche
	Dotfast, Autriche
	Agence spatiale canadienne, Canada
	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Canada
	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Fondation canadienne pour l’innovation (FCI), Canada
	Fonds pour la recherche en Ontario (FRO), Canada
	QEYnet Inc., Canada
	ISDE-ON, Canada
	Honeywell, Canada
	Université de Waterloo, Canada
	Université de Calgary, Canada
	Université de Toronto, Canada
	Université McGill, Canada
	Excelitas (anciennement Perkin Elmer), Canada
	Agence spatiale canadienne, Canada
	Institut national d’optique (INO), Canada
	Xiphos, Canada
	Neptec, Canada
	Université McMaster, Canada
	Fraunhofer Institute, Allemagne
	Politecnico di Milano, Italie
	Université de Padova, Italie
	Université nationale de Singapour, Singapour
	Université de Bristol, Royaume-Uni
Craft Prospect Ltd., Royaume-Uni	
Université de l’Illinois, États-Unis	
Jet Propulsion Laboratory, États-Unis	
Na Young Kim	Adam Wei Tsen, Université de Waterloo, Canada
	Bhashyam Balaji, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
	Anthony Damini, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
Raymond Laflamme	Quantum Valley Investments, Canada
	Institut Périmètre, Canada



	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), Canada
	Keysight Technologies, Canada
	Institut quantique, Sherbrooke, Canada
	Quantum Algorithms Institute, Colombie-Britannique, Canada
	Université de Guelph, Canada
	Université des sciences et technologies de Hong Kong, Chine
	Dawei Lu, SUSTech, Chine
	Technion, Israël
	Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni
	Phasecraft, Royaume-Uni
	Imperial College, Royaume-Uni
	Université de Californie à Berkeley, États-Unis
	Université du Tennessee, États-Unis
Département de la Sécurité intérieure, États-Unis	
Debbie Leung	Collège de William et Mary, États-Unis
	Université technique de Munich, Allemagne
	Université de Guelph, Canada
	Centrum Wiskunde & Informatica, Pays-Bas
	Massachusetts Institute of Technology, États-Unis
	Université du Maryland, États-Unis
	IBM, États-Unis
	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, États-Unis
	Université du Colorado à Boulder, États-Unis
Université Duke, États-Unis	
Adrian Lupascu	Canada Microfabrication Corporation (CMC), Canada
	Mitacs, Canada
	Milena Grifoni, Institute for Theoretical Physics, Université de Regensburg, Allemagne
	Département de l'Énergie, FermiLab, Jefferson Lab, États-Unis
	Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), États-Unis
	Massachusetts Institute of Technology, États-Unis
	IARPA/DARPA et Université de Californie du Sud, États-Unis
	Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
Norbert Lütkenhaus	Thomas Jennewein, Université de Waterloo, Canada
	Michele Mosca, Université de Waterloo, Canada
	Xiongfeng Ma, Université Tsinghua, Chine
	Christoph Marquardt, Max Planck Institute for the Science of Light, Allemagne
	Renato Renner, ETH Zurich, Suisse
	Daniel Gauthier, Ohio, États-Unis
	Michael Reimer, Université de Waterloo (IQC)



	Daniel Oi, Université de Strathclyde, Royaume-Uni
	Harald Weinfurter, LMU Munich, Allemagne
	Bruno Huttner, ID Quantique, Suisse
Matteo Mariani	Multiverse Computing, Toronto, Canada
	PASQAL, France, Pays-Bas, Canada
	CMC Microsystèmes, Canada
Michele Mosca	SERENE-RISC, Canada
	Global Risk Institute, Toronto, Canada
	QEYnet, Canada
	Crypto4A, Canada
	Creative Destruction Lab, Canada
	Groupe Rhea Canada, Canada
	NIT Research Lab, Japon
	Centre for Quantum Technologies (CQT), Université nationale de Singapour, Singapour
	CERN, Suisse
	Transmutex, Suisse
	Université de Bristol, Royaume-Uni
	KETS Quantum Security, Royaume-Uni
	National Institute of Standards and Technology (NIST), États-Unis
Christine Muschik	Peter Zoller et Rainer Blatt, Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Autriche
	Wolfgang Dür, Université d'Innsbruck, Autriche
	Robert Meyers, Institut Périmètre (QFun), Canada
	Randy Lewis, Université York, Canada
	Karl Jansen, Deutsches Elektron-Synchrotron (DESY), Allemagne
	Alessio Celi, Université autonome de Barcelone, Espagne
	Mattias Troyer (mentorat), IBM, États-Unis
	Oak Ridge National Laboratory, États-Unis
	Google, États-Unis
	Membre de la Société allemande de physique
Ashwin Nayak	Anurag Anshu, Université Harvard, États-Unis
	Dave Touchette, Université de Sherbrooke, Canada
	Institut de recherche en informatique fondamentale (IRIF), Université Paris Cité, France
	Frédéric Magniez, Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et Université Paris Cité, France
	Jędrzej Kaniewski, Université de Varsovie, Pologne
	Rahul Jain, Centre for Quantum Technologies (CQT), Université nationale de Singapour, Singapour
	Máté Farkas, The Institute of Photonic Sciences (ICFO), Espagne
	Henry Yuen, Université Columbia, États-Unis



Dmitry Pushin	PROSPECT, Université Yale, États-Unis
	Neutron Interferometry, National Institute of Standards and Technology (NIST), États-Unis
	Centre for Eye and Vision Research (CEVR), Hong Kong
Micheal Reimer	Single Quantum Systems, Canada
	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Université de Waterloo, Canada
	Université de technologie de Delft, Pays-Bas
	Royal Institute of Technology (KTH), Suède
	CMC Microsystèmes, Canada
Kevin Resch	Conseil national de recherches du Canada, Canada
	Institut Périmètre, Canada
	Université de Toronto, Canada
	Université de Guelph, Canada
William Slofsta	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Canada
	Alfred P. Sloan Foundation, États-Unis
Adam Wei Tsen	Université McMaster, Canada
	Université Renmin de Chine, Chine
	Académie chinoise des sciences, Chine
	Université de Fribourg, Allemagne
	Université Goethe de Francfort, Allemagne
	Weizmann Institute of Science, Israël
	Université Cornell, États-Unis
	Université du Michigan, États-Unis
	Université Texas Tech, États-Unis
	Université du Texas à Austin, États-Unis
	Université de Wake Forest, États-Unis
	Army Research Office, États-Unis
Crystal Senko	Sandia National Laboratories, États-Unis
	Quantum Systems for Fundamental Science, États-Unis
	Kazi Rajibul Islam, Université de Waterloo, Canada
	Chaire de recherche du Canada en informatique quantique à ions piégés, Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), Canada
Shalev Ben-David	Abhishek Anand, Caltech, États-Unis
	Robin Kothari, Google, États-Unis
Chris Wilson	Pr ^e Ivette Fuentes, Université d'Autriche, Autriche
	Qubic, Canada
	Pr ^r Enrique Solano, Université du Pays basque, Espagne
	Pr ^r Özgür Müstecaplıoğlu, Université Koç à Istanbul, Turquie
	Jose Aumentado, Ph. D., NIST-Colorado, États-Unis
Jon Yard	Université de la Colombie-Britannique, Canada



	Université Simon-Fraser, Canada
	Université d'Ottawa, Canada
	Université de Gdańsk, Pologne
	International Iberian Nanotechnology Laboratory, Espagne
	Université de Séville, Espagne
	Université de Grenade, Espagne
	Université de Stockholm, Suède
	Université Bilkent-Vakif, Turquie
	Collège universitaire de Londres, Royaume-Uni



E. Stagiaires postdoctoraux

Aleksander Kubica	Akbar Jahangiri Jozani
Eneet Kaur	Yu-Ting Chen
Sara Zafar Jafarzadeh	Abhijit Chakraborty
Wenyuan Zhang	Chris Wyenberg
Priyanka Mukhopadhyay	Meixin Cheng
Luke Schaeffer	Bowen Yang
Daniel Grier	Matthew Graydon
Seyedeh Mozhdeh (Mojde) Fadaie	Mohammad Soltani
Luca Dellantonio	Lin Tian
Mohd Zeeshan	Jérémy Béjanin
Dmitry Akhmetzyanov	Roksana Rashid
Maryam Sadat Mirkamali	Katie McDonnell
Roland Habluetzel Marrero	Ernest Tan
Michael Vasmer	Srijita Kundu
Madelaine Liddy	Hemant Katiyar
Sarah McCarthy	Tarun Patel
Anirban Ch Narayan Chowdhury	Jinglei Zhang
Rubayet Al Maruf	Fangchu Chen
Zheng Shi	Daozhi Shen
Sasan Vosoogh-Grayli	Adam Bene Watts
Dogan Sinar	Ningping Cao
Yosri Ayadi	Fatemeh Fani Sani
Simon Vallieres	Rui Yang
Arjun Shetty	Dinesh Valluri
Ali Assem Abdelkader Mahmoud	Gaili Wang
	Pardis Sahafi

F. Étudiants de cycle supérieur

Étudiants au doctorat

Benjamin Lovitz	Ramy Tannous
Maria Papageorgiou	Stefanie Beale
Aditya Jain	Emma (Annelise) Bergeron
Tales Rick Perche	Sainath Motlakunta
Nate Stemen	Bowen Yang
María Preciado Rivas	Paul Rev (Sung Eun) Oh
Kelly Wurtz	Andrew Cameron
José Polo-Gómez	Erickson Tjoa
Adam Teixido-Bonfill	Nikhil Kotibhaskar



Einar Gabbassov	Sahand (Seyed) Tabatabaei
Eric Culf	Bharat Kuchhal
Yinchen (Calvin) Liu	Brendan Bramman
Tiasa Mondol	Evan Peters
Connor Paul-Paddock	Lane Gunderman
Samuel Winnick	Pei Jiang Low
Andrew Jena	Chung-You (Gilbert) Shih
Joan Etude Arrow	Noah Greenberg
Kohdai Kuroiwa	Xi Dai
Amolak Kalra	Kent Ueno
Li Liu	Shlok Nahar
Jesse Allister Kasian Elliott	Melissa Henderson
Rory Soiffer	Kimia Mohammadi
Vahid Reza Asadi	Annie Ray
Nizar Messaoudi	Roger (Xiuzhe) Luo
Brad Van Kasteren	Zachary Merino
Nikolay Videnov	Sayan Gangopadhyay
Cindy (Xinci) Yang	Pritam Priyadarsi
Jamal Busnaina	Elijah Durso-Sabina
Sai Sreesh Venuturumilli	Pablo Jaime Palacios Avila
Burak Tekcan	Bruno de Souza Leao Torres
Yu (Jerry) Shi	Devashish Jayant Tupkary
HeeBong Yang	Sriram Gopalakrishnan
He (Ricky) Ren	Omar Hussein
Rabiul Islam	Christopher (Xicheng) Xu
Rubaya Absar	Anastasiia Mashko
Gabriel Vinicius de Oliveira Silva	Anthony Vogliano
Anya Houk	Everett Patterson
Yawen Peng	Esha Swaroop
Matteo Pennacchiotti	Cristina Rodríguez
Erfan Hosseini	Stéphane Vinet
Abdolreza Pasharavesh	Nicholas Zutt
Guangyu Peng	Jae Jong Oh
Salehi Iman	Lars Kamin
Shayan Majidy	Sanchit Srivastava
Shazhou (Joey) Zhong	Sonell Malik
Kaveh Gharavi	Amir Arqand



Nachiket Sherlekar	Estevao De Oliveira
TC Fraser	Luke Neal
Jack Davis	Caroline De Lima Vargas Simões
Matthew Duschenes	Forouzan Forouharmanesh
Benjamin Maclellan	Archishna Bhattacharyya
Yi Hong Teoh	Chi Zhang
Connor Kapahi	Reza Asadi
Noah Janzen	Adina Goldberg
Ejaaz Merali	Alec Gow
Stephen Harrigan	Padraig Daly
Paul Anderson	Yuming Zhao
Jiahui Chen	Kieran Mastel
Junan Lin	Jennifer Zhu

Étudiants à la maîtrise

Adam Winick	Lucas Hak
Nicholas Olsen	Lemieux Wang
Darian McLaren	Richard (Lewis) Hahn
Alexandra Kirillova	Ilyas Sharif
Fiona Thompson	Xianfan Nie
Fangzhou Yin	Owen Lailey
Wenxue Zhang	Mohammad Ayyash
Camille Lacroix	Xiaoran (Nicole) Li
Dave Jepson	Aosheng (Michael) Gu
Mary Katherine MacPherson	Cheng Zhu
Xingyu Zhou	Justin Schrier
Natalie Parham	Brady Cunard
Sarah (Meng) Li	YiDan Zheng
Abrar Kazi	Xiaoxuan Fan
Zeyi Liu	Manar Naeem
Junqiao Lin	Anton (Tony) Lutsenko
Zhiying Yu	Kosar Shirinzadeh Dastgiri
Danny (Xiangzhou) Kong	Jack (John) Burniston
John (Can) Bostanci	Zachary Hinkle
Abhishek Anand	Mai Sakuragi
Tony (Anthony) Lau	Margie (Margaret) Christ



Pulkit Sinha	Artem Zhutov
Guofei (Phillip) Long	Maeve Wentland
Lucas Roy	Scott Johnstun
Ze Yuan (Michael) Li	Matthew Piatt
Sarah Odinotski	Victor Marton
Sathursan Kokilathanan	Satchel Jeanne Armena
Benjamin Jarvis-Frain	Olivia Woodman
Zhuoyang He	Rahul Menon
Marcel Robitaille	Collin Epstein
Jack DeGooyer	Arsalan Motamedi
Dhruv Gopalakrishnan	Amit Anand
Shaun (Shixin) Ren	Jingwen (Monica) Zhu
Yvette de Sereville	Parth Padia
Namanish Singh	Zhaoxin Zhang
Wilson Wu	Hawking (Xinghe) Tan
Anthony Chytros	Noah Gorgichuk
Jacob Taylor	Xiao Yang
Albie Chan	Tristan Lismer
Olivier Nahman-Lévesque	Andrija Paurevic
Paul Del Franco	Zachary (Zach) St. Pierre
Alev Orfi	Megan Byres
Evan White	Tejas Naik
Ali Binai-Motlagh	Severyn Balaniuk

G. Présentations et participations à des conférences

Professeur	Titre ou sujet	Établissement ou conférence
Michal Bajcsy	<i>Single-photon source based on a quantum dot emitting at cesium wavelength</i> (« Source à photon unique à base de point quantique émettant à la fréquence du césium »)	SPIE Photonics West On Demand, 1 ^{er} février 2022
	<i>Manipulating single photons with atomic ensembles: tackling old challenges using nanophotonics</i> (« Manipulation de photons uniques et d'ensembles atomiques : la nanophotonique dénoue de vieux problèmes »)	Quantum Days 2022, 8 février 2022
	<i>Nanophotonic platforms for quantum optics with atomic ensembles</i> (« Plateformes nanophotoniques pour l'optique quantique avec ensembles atomiques »)	Congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP), 1 ^{er} juin 2022
Jon Baugh	<i>Single-electron devices: applications to quantum information</i> (« Dispositifs à électron unique : applications en information quantique »)	Quantum Nano Collision Seminar Series (en ligne), Institut de nanotechnologie de Waterloo, 10 juin 2022
Raffi Budakian	<i>Nuclear Magnetic Resonance Diffraction (NMRd): A Probe of Structure and Dynamics of Spins at the Atomic Scale</i> (« Diffraction de la résonance magnétique nucléaire : examen de la structure et de la dynamique des spins à l'échelle atomique »)	Physics Colloquium, Université de Buffalo, 2022
	<i>Angstrom-scale nuclear magnetic resonance diffraction: a route to atomic resolution magnetic resonance imaging</i> (« Diffraction de la résonance magnétique nucléaire à l'échelle d'un angström : une voie vers l'imagerie par résonance magnétique de la résolution atomique »)	Gordon Research Conference on Mechanical Systems in the Quantum Regime, Ventura, 2022
	<i>Nuclear Magnetic Resonance Diffraction (NMRd): A Probe of Structure and Dynamics of Spins at the Atomic Scale</i> (« Diffraction de la résonance magnétique nucléaire : examen de la structure et de la dynamique des spins à l'échelle atomique »)	Physics Colloquium, Université de Rochester
	<i>Angstrom-scale nuclear magnetic resonance diffraction: a route to atomic resolution magnetic resonance imaging</i> (« Diffraction de la résonance magnétique nucléaire à l'échelle d'un angström : une voie vers l'imagerie par résonance magnétique de la résolution atomique »)	NanoMRI 7, Barcelone, Espagne, 2022
Joseph Emerson	<i>The Role of Randomized Compiling for Quantum Computing: from NISQ to QEC</i> (« Le rôle de la compilation randomisée dans l'informatique quantique : de l'ordinateur quantique imparfait de taille intermédiaire [NISQ] à la correction d'erreurs quantiques [QEC] »)	SFB BeyondC, Vienne, Autriche, 4 au 9 septembre 2022
David Gosset	<i>Shallow circuits and the quantum-classical boundary</i> (« Les circuits peu profonds et la frontière classique-quantique »)	Quantum Information Summer School, Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), Québec, Canada, 27 septembre 2022



	<i>Shallow Clifford circuits: quantum advantage and classical simulation</i> (« Circuits Clifford peu profonds : l'avantage quantique et la simulation classique »)	NSF Workshop on Quantum Advantage and Next Steps, David Rubenstein Forum, Université de Chicago, États-Unis, 1 ^{er} août 2022
	<i>Classical algorithms for Forrelation</i> (« Algorithmes classiques pour Forrelation »)	Los Alamos National Laboratory Summer School on Quantum Computing (en ligne), 23 juin 2022
	<i>How to simulate measurement without computing marginals</i> (« Simulation de mesures sans calcul des marginales »)	Fifth Workshop on Algebraic Structures in Quantum Computing (en ligne), Université de la Colombie-Britannique, 14 juin 2022
Rajibul Islam	<i>A brief journey of cold atomic physics: from clocks to quantum computers</i> (« Bref panorama de la physique des atomes froids : de l'horloge à l'ordinateur quantique »)	Séminaire de l'Indian Association of Physics Teachers (en ligne) à l'occasion de la journée nationale de la science en Inde, 28 février 2023
	<i>Simulating the quantum world with laser-cooled trapped ions</i> (« Simulation du monde quantique à l'aide d'ions piégés refroidis par laser »)	Séminaire de la journée nationale de la science (en ligne), IIT (ISM), Dhanbad, Inde, 14 février 2023
	<i>Trapped ion quantum simulation: opportunities and challenges</i> (« Simulation quantique à ions piégés : occasions et difficultés »)	Colloque de l'Indian Association for the Cultivation of Science, Kolkata, Inde, 31 janvier 2023
	<i>A brief journey of cold atomic physics: from clocks to quantum computers</i> (« Bref panorama de la physique des atomes froids : de l'horloge à l'ordinateur quantique »)	Séminaire (en ligne), Collège Prabhat Kumar, Contai, Inde, 17 janvier 2023
	<i>Trapped Ion Quantum Information Processing Effort at University of Waterloo</i> (« Traitement de l'information quantique par ions piégés à l'Université de Waterloo »)	Université Cornell, 10 octobre 2022
	<i>Precise and programmable individual optical addressing for Yb+ and Ba+ qubits</i> (« Traitement optique individuel précis et programmable des qubits Yb+ et Ba+ »)	North American Conference on Trapped Ions (NACTI), Université Duke, 1 ^{er} août 2022
	<i>Site-selective dissipation and measurement without decohering neighbours in a static ion chain</i> (« Dissipation et mesure par emplacement sans décohérence d'ions voisins dans une chaîne d'ions statiques »)	ETH Zurich, 19 juillet 2022
	<i>Probing coherent and dissipative dynamics on a trapped ion quantum simulator</i> (« Examen des dynamiques cohérentes et dissipatives dans un simulateur quantique à ions piégés »)	WE-Heraeus-Seminar on Entropy and the Second Law of Thermodynamics, Physikzentrum Bad Honnef, Allemagne, 15 juillet 2022
	<i>Programmable Quantum Simulations with Laser-cooled Trapped Ions</i> (« Simulations quantiques programmables à ions piégés refroidis par laser »)	Indian Institute of Science Education and Research (IISER) Thiruvananthapuram, 18 avril 2022
	<i>Programmable Quantum Simulations with Laser-cooled Trapped Ions</i> (« Simulations quantiques programmables à ions piégés refroidis par laser »)	Université Purdue, 6 avril 2022
Alan Jamison	<i>IP Involved Quantum Computing</i> (« Informatique quantique et propriété intellectuelle »)	Holland & Knight, Tampa, Floride, États-Unis, janvier 2023
	<i>Quantum Coherent Chemistry with Ultracold Atoms and Molecules</i> (« Chimie à cohérence quantique des molécules et des atomes ultrafroids »)	Symposium on Chemical Physics, Université de Waterloo, novembre 2022



	<i>Laser Cooling to Quantum Chemistry</i> (« Chimie quantique et refroidissement par laser »)	Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo, novembre 2022
	<i>Laser Cooling to Quantum Chemistry</i> (« Chimie quantique et refroidissement par laser »)	Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo, août 2022
	<i>Quantum state control of ultracold chemistry</i> (« Contrôle de l'état quantique de la chimie ultrafroide »)	Conférence Cold Atom Molecule Interactions (CATMIN), Institut Périmètre, juillet 2022
Thomas Jennewein	<i>QEYSSat – the Canadian quantum satellite mission</i> (« QEYSSat : mission de satellite quantique canadien »)	Université d'Innsbruck, 14 mars 2023
	<i>Advances for Satellite Quantum Communication Channels</i> (« Avancées en matière de canaux de communication quantique satellite »)	Quantum 2.0 Conference and Exhibition, juin 2022
	Discours inaugural	Conférence Quantum Days, janvier 2023
	<i>Transitioning Quantum Technologies to a Business</i> (« Transformer les technologies quantiques en occasion d'affaires »)	Congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP), juin 2022
	<i>The quantum internet and why satellites will be needed</i> (« L'internet quantique et l'importance des satellites »)	Symposium QIT46, mai 2022
	<i>The quantum internet and why satellites will be needed</i> (« L'internet quantique et l'importance des satellites »)	Photonics North, mai 2022
	<i>The quantum internet and why satellites will be needed</i> (« L'internet quantique et l'importance des satellites »)	CLEO Space Optics Symposium, mai 2022
Na Young Kim	<i>Temperature Study of Rydberg Excitons in Cu₂O</i> (« Étude de la température des excitons de Rydberg dans le Cu ₂ O »)	5 th International Workshop on Rydberg Excitons in Semiconductors, Aarhus, Danemark, 11 mai 2022
	<i>Semiconductor Quantum Science and Technology Platforms</i> (« Science quantique des semi-conducteurs et plateformes technologiques »)	Série de séminaires 2022 de l'Association of Korean-Canadian Scientists and Engineers (AKCSE), 6 octobre 2022
	<i>Semiconductor Quantum Cavity QED Platforms: Bloch Exciton-Polaritons and Rydberg Excitons</i> (« Plateformes d'électrodynamique quantique en cavité semiconductrices : exciton-polaritons de Bloch et excitons de Rydberg »)	2021 Quantum Week (en ligne), Corée du Sud, 27 juin 2021
	<i>Solid-State Quantum Platforms: Bloch Exciton-Polaritons and Rydberg Excitons</i> (« Plateformes quantiques à l'état solide : exciton-polaritons de Bloch et excitons de Rydberg »)	Séminaire de l'Institute for Quantum Science and Technology, Université de Calgary, 19 octobre 2022
	<i>Hybrid Classical and Quantum Machine Learning Algorithms</i> (« Algorithmes d'apprentissage machine hybride classique-quantique »)	2022 KOSEN Bridge Forum, 20 octobre 2022
	<i>Solid-State Quantum Simulator Platforms</i> (« Plateformes de simulation quantique à l'état solide »)	22 nd Asian Quantum Information Science Conference, 18 décembre 2022
Raymond Laflamme	Rencontre de lancement de la Stratégie quantique nationale	Institut Périmètre, Waterloo, Ontario, 16 janvier 2023
	<i>Quantum Technologies</i> (« Technologies quantiques »)	Conférence Quantum Days, janvier 2023
Debbie Leung	<i>The platypus of the quantum channel zoo and their generic nonadditivity</i> (« L'ornithorynque	Réunion d'hiver 2022 de la SMC, Toronto, 2 au 5 décembre 2022



	du zoo des canaux quantiques et sa non-additivité générale »)	
Adrian Lupascu	<i>Landau-Zener tunneling: from weak to strong environment coupling</i> (« Effet tunnel Landau-Zener : couplage environnemental faible à fort »)	Séminaire d'1QBit (en ligne), 17 mars 2023
	<i>Landau-Zener tunneling: from weak to strong environment coupling</i> (« Effet tunnel Landau-Zener : couplage environnemental faible à fort »)	APS March Meeting, Las Vegas, États-Unis, 6 au 10 mars 2023
	<i>Landau-Zener tunneling: from weak to strong environment coupling</i> (« Effet tunnel Landau-Zener : couplage environnemental faible à fort »)	International Network on Quantum Annealing Conference, Londres, Royaume-Uni, 9 au 11 novembre 2022
	<i>Superconducting Qubits – Introduction and discussion of new research directions</i> (« Qubits supraconducteurs : introduction et présentation de nouvelles avenues de recherche ») (tutoriel)	6 th International Workshop on Quantum Coherence, Control, and Computing, Center for Quantum Science and Engineering, Hoboken, New Jersey, 12 au 14 octobre 2022
	<i>The demonstration of switchable coupling between a two-level system and a waveguide implemented using superconducting systems</i> (« Démonstration du couplage interchangeable entre un système à deux niveaux et un guide d'ondes mis en place à l'aide de systèmes supraconducteurs »)	6 th International Workshop on Quantum Coherence, Control, and Computing, Center for Quantum Science and Engineering, Hoboken, New Jersey, 12 au 14 octobre 2022
	<i>The demonstration of switchable detector-field coupling implemented using superconducting systems</i> (« Démonstration du couplage interchangeable de champs de détection à l'aide de systèmes supraconducteurs »)	Relativistic Quantum Information North, Waterloo, Canada, 5 au 9 septembre 2022
Michele Mosca	<i>Prosperity and resilience in the quantum era</i> (« Prospérité et résilience à l'ère quantique »)	International Quantum Conclave 2023 (hybride), Centre for Development of Telematics (C-DOT) – centre de recherche et développement du gouvernement indien, New Delhi, Inde, 31 mars 2023
	<i>National Quantum Strategy and Beyond: research and commercialization in Canada</i> (« Stratégie quantique nationale et au-delà : recherche et commercialisation au Canada »)	Team Canada Booth, AAAS Annual Meeting, Science for Humanity, Washington, États-Unis, 4 mars 2023
	<i>Toward a more resilient quantum future</i> (« Vers un avenir quantique plus résilient »)	AAAS Annual Meeting, Science for Humanity, Washington, États-Unis, 4 mars 2023
	<i>Emerging technologies</i> (« Technologies émergentes »)	Research Security Conference, Research Security in Today's Geo-Political Era, Federation Hall, Université de Waterloo, Ontario, 27 février 2023
	<i>Entering the Quantum Era</i> (« Entrer dans l'ère quantique »)	BX Digital Edge Monthly Call (en ligne), 11 janvier 2023
	<i>Quantum Computing: Opportunities and Risks</i> (« Informatique quantique : possibilités et risques »)	Événement de Rotman, Université de Toronto, Canada, 22 novembre 2022
	Table ronde des dirigeants d'entreprise avec Vivek et Dominic Barton	Technology Disruptions (en ligne), Université de Waterloo, Canada, 22 novembre 2022
	<i>Quantum computer and quantum attacks</i> (« Ordinateurs et attaques quantiques »)	BlackBerry Innovation Technology Series Talk (en ligne), 15 novembre 2022
	<i>Who will use them and when</i> (« Applications quantiques : qui et quand »)	Inside Quantum Technology, ville de New York, États-Unis, 25 octobre 2022



	<i>Preparing for the Post-Quantum Era of cryptography</i> (« Se préparer à l'ère postquantique de la cryptographie »)	FinCyber Today Summit, organisé par FS-ISAC, Scottsdale, Arizona, États-Unis, 12 octobre 2022
	<i>Quantum Computing and AI</i> (« Informatique quantique et IA »)	AI and Electric Power Summit, Rome, Italie, 4 au 6 octobre 2022
	<i>Quantum Technologies in Defence and Intelligence Security</i> (« Les technologies quantiques au service de la Défense et de la protection des renseignements »)	Rencontre d'experts du ministère de la Défense nationale et des Forces armées canadiennes sur les conséquences des technologies quantiques pour les renseignements (en ligne), 20 septembre 2022
	<i>Toward cybersecurity in the quantum era</i> (« La cybersécurité à l'ère quantique »)	Formation du personnel du SWIFT Institute sur l'informatique quantique et son potentiel pour le secteur financier (en ligne), 22 septembre 2022
	Panel : <i>Now what? Changes in the post-quantum ecosystem</i> (« Et maintenant? Les changements dans l'écosystème postquantique »)	International Cryptographic Module Conference (ICMC) 2022, Virginie, États-Unis, 15 septembre 2022
	<i>CISA Secure Tomorrow Series: Scenarios Workshop</i> (« Série de la CISA pour un avenir sûr : atelier de scénarios »)	National Risk Management Center (NRMC), CISA, Boston, États-Unis, 17 et 18 août 2022
	<i>A review of NIST post-quantum standardization project</i> (« Examen du projet postnormalisation quantique du NIST »)	Glowing Hot Topics in Cryptography (GHTC): Cryptographic Agility, Université de Californie, Santa Barbara, événement affilié à Crypto 2022, 13 août 2022
	<i>Strategic Outlook on the future of Quantum Computing</i> (« Perspective stratégique de l'avenir de l'informatique quantique »)	Forum économique mondial, Global Technology Governance Retreat 2022, San Francisco, États-Unis, 23 juin 2022
	<i>Creating the Quantum Industry, what it takes to Found, Fund and Run a Startup?</i> (« Bâtir l'industrie quantique : fondation, financement et gestion d'une jeune entreprise »)	Quantum 2.0 Conference and Exhibition, 15 juin 2022
	<i>Quantum opportunities and Risk</i> (« Occasions et risques en lien avec la quantique »)	BX Digital Edge, Hathaway Global Strategies LLC, 14 juin 2022
	<i>Quantum Key Distribution vs. Post Quantum Cryptography vs. TrUE Quantum Encryption: Who is the Betamax, who is the VCR, and who is the DVD?</i> (« Distribution quantique de clés, cryptographie postquantique et cryptage quantique TrUE : départager le Betamax du VHS et du DVD »)	Quantum.Tech, Boston, États-Unis, 14 juin 2022
	<i>Data Privacy and Insurance in the Quantum Age</i> (« Confidentialité et protection des données à l'ère quantique »)	10 th Annual Forum on Canadian Cyber Security, Cambridge, Canada, 30 mai 2022
	<i>Post-quantum cryptography</i> (« Cryptographie postquantique »)	Balado Entrust Engage (en ligne), 27 mai 2022
	<i>Will we see unintended consequences from quantum? How do we mitigate risk with dual technologies?</i> (« L'informatique quantique aura-t-elle des conséquences indésirées? Comment réduire les risques liés au dédoublement des technologies? »)	Commercializing Quantum (en ligne), Economist Impact, Royaume-Uni, 19 mai 2022
	<i>Cybersecurity and Quantum Computing</i> (« Cybersécurité et informatique quantique »)	Toronto Youth STEM and Innovation Conference (en ligne), 23 avril 2022
	<i>Quantum 101</i> (« Quantique 101 »)	Confronting the Quantum Challenge: Business Innovation Technology Security (BITS) Quantum Computing Symposium (en ligne), 21 avril 2022



Christine Muschik	<i>Next Challenges in Quantum Simulation</i> (« Simulation quantique et défis de demain »)	APS March Meeting, Las Vegas, Nevada, 5 au 10 mars 2023
	<i>Simulating Particle Physics with Quantum Computers</i> (« Simulation de la physique des particules à l'aide d'ordinateurs quantiques »)	Synthetic Intelligence Forum (en ligne), Toronto, Ontario, 19 décembre 2022
	<i>Quantum chromodynamics</i> (« Chromodynamique quantique »)	Université de Leyde (en ligne), Pays-Bas, 14 décembre 2022
	<i>TQT Scientific Advisory Council Meeting</i> (« Réunion du conseil consultatif scientifique de l'initiative TQT »)	Waterloo, Ontario, octobre 2022
	<i>Quantum Information Science (« QIS ») Program</i> (« Le programme de science quantique »)	Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), ville de Québec, Québec, 27 septembre 2022
	<i>Teaching Quantum Computers to Simulate Particle Physics</i> (« Enseigner aux ordinateurs quantiques à simuler la physique des particules »)	Centre for Quantum Information and Quantum Control (CQIQ) IX, Toronto, Ontario, août 2022
	<i>Fresh Approaches to Quantum Computing</i> (« Nouvelles approches de l'informatique quantique »)	Présentation lors d'une réunion du conseil d'administration de l'Institut Périmètre, Waterloo, Ontario, juin 2022
	<i>Teaching quantum computers to simulate gauge theories for particle physics</i> (« Enseigner aux ordinateurs quantiques à simuler les théories de jauge pour la physique des particules »)	Congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP), Université McMaster, Hamilton, Ontario, juin 2022
Ashwin Nayak	<i>Applications of the information-theoretic method in quantum computation</i> (« Applications de la méthode de la théorie de l'information en informatique quantique »)	10 th Iran Workshop on Communication and Information Theory (en ligne), Iran, 11 mai 2022
	Bounds on Sample Complexity via Information Theory. Thematic semester: "Symmetries: Algebras and Physics" (« Théorie de l'information et limites de la complexité des échantillons – session thématique "symétries : algèbres et physique" »)	Théorie des graphes, combinatoire algébrique et physique mathématique, Centre de recherches mathématiques (CRM), Montréal, Québec, Canada, mai à décembre 2022
Dmitry Pushin	<i>Neutron Interferometry and structured waves of matter and light</i> (« Interférométrie des neutrons et ondes structurées de matière et de lumière »)	Quantum Information Seminar, Université de Toronto, Canada, 2023
	<i>Neutron Interferometry for Metrology</i> (« Interférométrie des neutrons pour la métrologie »)	QSQS 2022, Université de Washington, États-Unis, 2022
	<i>Integrating structured wave techniques into neutron sciences</i> (« Techniques d'ondes structurées appliquées à la neutronique »)	International Conference on Optical Angular Momentum (ICOAM) 2022, Tampere, Finlande, 2022
	<i>Neutron Interferometry and Current Advance</i> (« Interférométrie des neutrons : état des lieux »)	Applied Cryptography and Network Security (ACNS) 2022, Université du Colorado, Boulder, États-Unis, 2022
Micheal Reimer	<i>On-demand III-V quantum light sources</i> (« sources de lumière quantique de semiconducteurs III à V sur demande »)	Atelier sur la photonique quantique de FONCER du CRSNG (Quantum BC) et de CMC, Vancouver, Canada, 20 au 24 février 2023
	<i>Near-term Applications of Quantum Sensing Technologies in Biomedical Sciences</i> (« Applications à court terme des capteurs quantiques dans les sciences biomédicales »)	Atelier virtuel des National Institutes of Health (NIH), 5 et 6 janvier 2023
	<i>Quantum nanophotonic devices for quantum computing, communication, and sensing</i> (« Dispositifs quantiques nanophotoniques	Annual Conference of the IEEE Photonics Society, Vancouver, Canada, 13 au 17 novembre 2022



	pour l'informatique, la communication et la détection quantiques »)	
	<i>Photonic nanowire quantum devices</i> (« Dispositifs quantiques à nanofils photoniques »)	Séminaire (en ligne), National Institute of Standards and Technology (NIST), États-Unis, 31 mai 2022
	<i>On-demand generation of entangled photon pairs with near-unity fidelity</i> (« Production sur demande de paires de photons enchevêtrées à fidélité quasi unitaire »)	Photonics for Quantum 2022, Rochester, États-Unis, 6 au 9 juin 2022
	<i>Solid-state quantum sensors for biomedical imaging</i> (« Capteurs quantiques à l'état solide pour l'imagerie biomédicale »)	Séminaire (en ligne), National Institute of Standards and Technology (NIST), États-Unis, 6 mai 2022
	<i>On-demand generation of entangled photon pairs</i> (« Production sur demande de paires de photons enchevêtrées »)	Photonics North 2022, chutes Niagara, Canada, 2022
Crystal Senko		American Physical Society (APS) Division of Atomic, Molecular, and Optical Physics (DAMOP) Annual Meeting, Orlando, Floride, juin 2022
		APS DAMOP Graduate Student Symposium, Orlando, Floride, juin 2022
		North American Conference on Trapped Ions (NACTI), Durham, Caroline du Nord, août 2022
	<i>Quantum Processors</i> (« Processeurs quantiques »)	Conférence Quantum Days, janvier 2023
		Canadian Graduate Quantum Conference, janvier 2023
William Slofstra	<i>Bell inequalities and decision problems in C^*-algebras</i> (« Inégalités de Bell et problèmes de décision dans les C^* -algèbres »)	Wales MPPM Mathematical Physics – Physical Mathematics Seminar (en ligne), octobre 2022
	<i>Positivity Is Undecidable in Tensor Products of Free Algebras</i> (« La positivité indécidable des produits tensoriels d'algèbres libres »)	Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS) 2022 (en ligne), Bayreuth, Allemagne, septembre 2022
	<i>$MIP^*=RE$: what it is and further directions for operator algebraists</i> (« $MIP^*=RE$: signification et renseignements supplémentaires pour les algébristes d'opérateurs »)	MFO, atelier d'Oberwolfach sur les C^* -algèbres, août 2022
	<i>Positivity and sums of squares in products of free algebras</i> (« Positivité et sommes des carrés des produits d'algèbres libres »)	Tutte Colloquium, Université de Waterloo, juillet 2022
	<i>The non-commutative geometry of quantum correlation sets: from Tsirelson to now</i> (« La géométrie non commutative des ensembles de corrélations quantiques : de Tsirelson à aujourd'hui »)	Tsirelson Memorial Workshop (en ligne), IQOQI Vienna, avril 2022
Adam Wei Tsen	<i>Tunneling Probe of Magnons in 2D α-$RuCl_3$</i> (« Exploration par effet tunnel des magnons de α - $RuCl_3$ en 2D »)	APS March Meeting, Las Vegas, Nevada, 8 mars 2023
	<i>Tunneling Probe of 2D Kitaev and Moiré Magnetism</i> (« Exploration par effet tunnel du magnétisme 2D de Kitaev et du moiré »)	Department of Physics Colloquium, Université de Wake Forest, 16 février 2023
	<i>Tunneling Probe of 2D Kitaev and Moiré Magnetism</i> (« Exploration par effet tunnel du magnétisme 2D de Kitaev et du moiré »)	Quantum Matters Seminar, Université de Waterloo, 18 janvier 2023
	<i>2D Heterostructures for Broadband Photodetection and Spectroscopy Beyond the Diffraction Limit</i> (« Hétérostructures en 2D pour la photodétection à large bande et la	International Workshop on Quantum Circuits in 2D Materials, Université d'Ottawa, 27 mai 2022



	spectroscopie au-delà de la limite de diffraction »)	
	<i>Tunneling Probe of Two-Dimensional Magnetism</i> (« Exploration par effet tunnel du magnétisme 2D »)	Department of Materials Science and Engineering Seminar, Université du Wisconsin, Madison, 14 avril 2022
Guo-Xing Miao	<i>Spin Manipulation with Ionic Motion in Solid State Systems</i> (« Manipulation des spins par mouvement ionique dans les systèmes à l'état solide »)	Beijing Academy of Quantum Information Sciences, Beijing Chine, août 2022
Chris Wilson	<i>Analog Quantum Simulation of Topological Models</i> (« Simulation quantique analogique de modèles topologiques »)	Quantum Information Science for Nuclear Physics, Santa Fe, Nouveau-Mexique, 31 janvier 2023
	<i>Generating Quantum Microwaves using Superconducting Circuits</i> (« Production de micro-ondes quantiques à l'aide de circuits supraconducteurs »)	Colloque du SNOLAB, Sudbury, Canada, 2022
	<i>Analog Quantum Simulation of Topological Models with a Parametric Cavity</i> (« Simulation quantique analogique de modèles topologiques à cavité paramétrique »)	Quantum Microwaves, Heat Transfer and Many-Body Physics in Superconducting Devices, Trieste, Italie, 2022
Jon Yard	<i>Arithmetic of quantum circuits and SIC-POVMs</i> (« Arithmétique des circuits quantiques et des SIC-POVM »)	Réunion de lancement de FoQaCiA, 3 novembre 2022

H. Visiteurs scientifiques

Visiteur	Organisation
Oliver Morin	Max Planck Institute of Quantum Optics
Dimitrios Antsos	NASA Jet Propulsion Laboratory
Alexander Lohrmann	NASA Jet Propulsion Laboratory
Makan Mohageg	NASA Jet Propulsion Laboratory
Matt Shaw	NASA Jet Propulsion Laboratory
Andy Schang	Université Cornell
Ana Bershanska	Université de Toronto
Meliza Ozen	Université d'Ottawa
Fabien Lefebvre	Université d'Ottawa
Ana Bershanska	Université de Toronto
Akimasa Ihara	Université Cornell
Hyo Sun Park	Collège Bryn-Mawr
Tian Ooi	Université de l'Alberta
Craig Colquhoun	Craft Prospect Ltd
Xuedong Hu	Université de Buffalo

Phillip Kaye	Conseil national de recherches du Canada
SeongMin CHO	Université de Hanyang
Gyuseop Lee	Université de Hanyang
Seung-Hyun Seo	Université de Hanyang
Nayeli Azucena Rodriguez-Briones	Université de Californie à Berkeley
Pasha Shavelev	Université Queen's à Kingston
Dillion Cottrill	Université Stony Brook
Maris Ozols	QuSoft, Université d'Amsterdam
Anupam Mazumdar	Université de Groningue
Stephanie Simmons	Université Simon-Fraser
Cihan Okay	Université Bilkent
Rodolfo Reis Soldati	Université de Stuttgart
Lianao Wu	Université du Pays basque (UPV/EHU)
Mario Szegedy	Université Rutgers
Chinmay Nirkhe	IBM Research
Richard Germond	Université Queen's à Kingston
Hyeung Joo Lee	Korea Institute for Advanced Study (KIAS)
Jaewan Kim	Korea Institute for Advanced Study (KIAS)
Won Hyeong Choi	Korea Institute for Advanced Study (KIAS)
Ahmad Farooq	Université Kyung-Hee
Ali Assem Abdelkader Mahmoud	Institut Périètre
Stephen Vintskevich	Université de Moscou (anciennement)
Joshua Montgomery	to.technology
Amir Raeesi	Qubic inc.
Jean-Philippe Bourgoin	Single Quantum Systems
Giampiero Marchegiani	Technology Innovation Institute
Michael Hilke	Université McGill
Tony Leggett	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign
Dominik Hangleiter	Université du Maryland
Richard Curry	Université de Manchester
Ewin Tang	Université de Washington
Alessandro Serafin	Bluefors Inc.
Stacey Jeffery	QuSoft, Research Centre for Quantum Software

Henri Morin	Université d'Ottawa
Jonathan Lavoie	Xanadu Quantum Technologies
Sushil Majumdar	Tata Institute of Fundamental Research
Harold Ollivier	Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique
Felix Motzoi	Stadt Jülich
Zachary Mann	Université de Montréal
Jerry Li	Microsoft Research
Hector Spencer-Wood	Université de Glasgow
Sarah Croke	Université de Glasgow
Alessandro Serafin	Bluefors Inc.
Carlos Perez Delgado	Université du Kent
Claude Crepeau	Université McGill
Sumeet Khatri	Université libre de Berlin
Julien Laurat	Laboratoire Kastler Brossel
Yusif Akhund	Lockheed Martin
Zolzaya Erdenebileg	Qubic inc.
Jérôme Bourassa	Qubic inc.
Jack Winters	Lockheed Martin
Brian Mason	Lockheed Martin
Thomas Loftus	Lockheed Martin
Sanipa Arnold	Lockheed Martin
Eric Culf	Université d'Ottawa
Urbasi Sinha	Raman Research Institute
Ojas Parekh	Sandia National Laboratories
Ben Criger	Cambridge Quantum Computing
Urbasi Sinha	Raman Research Institute
Bhaskaran Muralidharan	Institut indien de technologie de Bombay
Zhaoyi Li	Université Stanford
Sougato Bose	Collège universitaire de Londres
Alexander Pickston	Institute of Photonics and Quantum Sciences, Université Heriot-Watt
Xiao Mi	Google
Shawn Ren	S.O.
Katanya Kuntz	Université de Nouvelle-Galles-du-Sud

Nikola Sarah Mang	Université technique de Dortmund
Anaida Ali	Institut indien de technologie de Bombay
Hope Fu	Massachusetts Institute of Technology
Smita Rajan	Université Brown
Angus Russell	Université de Strathclyde
Hyo Sun Park	Collège Bryn-Mawr
Michael Liu	Collège Amherst
Emiliia Dyrenkova	Université de la Californie à Berkeley
Keshav Adhyay Rakesh	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign
Rohan Joshi	Université technologique de Delhi
Aleksander Kubica	California Institute of Technology
Edgar Solomonik	Université de l'Illinois à Urbana-Champaign
Mahadevan Subramanian	Institut indien de technologie de Bombay
Marcin Kepa	Université de Varsovie
Christoforos Iakovou	Université de Strathclyde
Vladyslav Los	Université Louis-et-Maximilien de Munich
Graeme Smith	Université du Colorado à Boulder
Philippe Faist	Université libre de Berlin
Zolzaya Erdenebileg	Qubic inc.
Jérôme Bourassa	Qubic inc.
Gregory Rosenthal	Université de Toronto