

# Saisir les possibilités du Canada dans le domaine quantique

Rapport sur le symposium et l'atelier de Quantique Canada

Les 11 et 12 avril 2017







#### Table des matières

Objet	1
Appel à l'action	3
Possibilités du Canada dans le domaine quantique	3
Fondement de l'excellence scientifique	3
Capacités d'innovation	3
Impératif d'agir	4
Ambitieux projets quantiques	4
Protection des cybersystèmes et renseignements essentiels	5
Renforcement des capacités de défense du Canada	5
Maintien et accroissement de l'excellence scientifique du Canada	5
Installations	6
Forces actuelles et modèles de réussite examinés	6
Aspects pouvant être améliorés	6
Activités potentielles discutées en vue de favoriser l'amélioration des installations	6
Personnel hautement qualifié	7
Forces examinées	7
Aspects pouvant être améliorés	7
Activités potentielles discutées en vue d'accroître le recrutement et la formation du PHQ	7
Collaboration	7
Forces et modèles de réussite examinés	8
Aspects pouvant être améliorés	8
Activités potentielles discutées en vue d'accroître la collaboration	8
Stimuler l'innovation	8
Forces scientifiques du Canada à potentiel de technologie transformatrice	8
Solutions quantiques particulièrement pertinentes pour le Canada	<u>9</u>
Possibilités des technologies quantiques ayant une forte incidence au Canada	9
Éventuelles stratégies et activités discutées en vue d'accélérer le développement des technologies quantiques	
Autres questions à discuter	10
Prochaines étapes	11
Annexe Δ : Glossaire	11

#### **Objet**

Le présent rapport a pour objet de documenter les discussions des participants au symposium et à l'atelier organisés par Quantique Canada, les 11 et 12 avril 2017, et de présenter les idées qui s'en dégagent. Les renseignements ici fournis et le processus de rétroaction qui suivra poursuivront le dialogue entre les intervenants du domaine quantique, jusqu'à l'atteinte de l'objectif ultime qu'est l'élaboration d'une stratégie quantique nationale solide pour le Canada.

Étalée sur deux jours à Ottawa, l'activité était organisée par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) et l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA). Des scientifiques, des joueurs de l'industrie et des représentants du gouvernement s'y sont réunis pour discuter de la façon dont le Canada peut miser sur ses forces en matière de science quantique pour se hisser au rang de chef de file mondial des technologies quantiques de demain.

L'activité avait pour point de départ les constatations issues du sondage réalisé par Quantique Canada en septembre 2016, au terme duquel plus de 350 membres du secteur avaient cerné plusieurs priorités dont on devrait tenir compte pour que le Canada connaisse un avenir florissant dans le domaine quantique, notamment faciliter le recrutement et la formation du personnel hautement qualifié requis pour une gamme d'activités en R-D, forger une vision nationale claire pour défendre les intérêts du Canada dans le domaine quantique et amener les universités, les organismes publics et l'industrie à collaborer davantage.

Les discussions étaient libres et très diversifiées, si bien que les participants ont exposé une foule d'idées. On voulait ainsi encourager un brassage d'idées, relever des questions importantes pour la communauté quantique et permettre aux participants de discuter d'éventuelles mesures pour aider le Canada à maintenir et à accroître sa position avantageuse au sein du secteur émergent de la science quantique.

Plus de 200 personnes provenant d'universités, d'organismes gouvernementaux et du secteur privé ont participé aux travaux de la première journée — un symposium ponctué de présentations par des chefs de file des secteurs scientifique, technologique, industriel et gouvernemental. Les discussions se sont poursuivies la deuxième journée, dans le cadre d'un atelier composé de 60 participants. Ce groupe diversifié comprenait des scientifiques canadiens proéminents dans leur champ de recherche quantique, des entreprises travaillant avec des technologies quantiques ou en quête de telles technologies, et des décideurs intéressés à saisir le potentiel des applications quantiques afin de s'attaquer à des enjeux et à des priorités d'importance pour les Canadiens et le pays.

#### Vision de Quantique Canada

Un écosystème quantique canadien dynamique qui repose sur des travaux de recherche-développement de pointe, des technologies innovatrices et des entreprises canadiennes concurrentielles à l'échelle mondiale, procurant au Canada des solutions sociales, économiques et environnementales.



#### Conférenciers au symposium de Quantique Canada

Première rangée (de gauche à droite) : Mario Pinto, John Hepburn, l'honorable Zachary J. Lemnios, Iain Stewart, Ben Sussman Deuxième rangée (de gauche à droite) : Duncan Stewart, Peter Knight, Paul Corkum

Absent : Scott Jones

#### Appel à l'action

Les membres de la communauté quantique reconnaissent que le Canada est très bien placé pour conserver son rôle de chef de file mondial dans le domaine quantique, mais que le succès n'est pas garanti. La route entre l'excellence actuelle en matière de science quantique et les effets innovateurs de demain sur le Canada exigera tôt ou tard une vision nationale homogène, des infrastructures de soutien et un plan d'action.

À l'activité, un « appel à l'action » a été lancé à la communauté quantique : Travaillons ensemble pour déterminer les stratégies et les activités qui propulseront le Canada de demain vers le succès dans le secteur quantique, en répondant à trois grandes questions :

- Comment pouvons-nous travailler ensemble en tant que communauté pour résoudre de grands problèmes canadiens?
- 2. Que devons-nous faire pour maintenir et accroître notre excellence dans le domaine de la science quantique?
- 3. Que devons-nous faire pour convertir cette excellence scientifique en retombées technologiques pour le Canada?
  - « Nous devons tabler sur nos forces en science quantique pour mettre au point des technologies utiles aux Canadiens dans des domaines comme la santé, les communications, l'environnement, la gestion des ressources, etc. Nous devons chercher comment la science quantique peut nous aider à régler nos problèmes de société et comment en faire une composante clé de la résolution des problèmes des Canadiens, aujourd'hui et demain. »
  - Iain Stewart, président, CNRC

# Possibilités du Canada dans le domaine quantique

#### Fondement de l'excellence scientifique

Le symposium de Quantique Canada comportait un discours d'ouverture prononcé par Peter Knight, un scientifique du domaine quantique mondialement reconnu qui a eu une grande influence dans le développement de l'univers quantique afin d'en faire une priorité scientifique et technologique du Royaume-Uni R.-U. M. Knight a décrit le Canada comme un joueur solide et hautement respecté sur la scène mondiale de la recherche-développement en matière quantique. Il a cité les données que McKinsey a publiées en mars 2017 dans The *Economist*<sup>1</sup>, et qui plaçaient le Canada au cinquième rang mondial pour les dépenses qu'il consacre chaque année à la recherche quantique.

« Si l'on veut engendrer de nouvelles connaissances au pouvoir transformateur, il faut absolument mettre les meilleurs scientifiques du Canada en contact avec les meilleurs scientifiques des autres pays. Grâce aux efforts que nous avons déployés en information quantique et dans les matériaux quantiques, d'éminents chercheurs canadiens ont pu coopérer avec leurs collègues de l'étranger et repousser les limites des sciences quantiques. Ces recherches communes de calibre international ont aidé le Canada à devenir une des grandes nations quantiques de la planète, et nous avons besoin de ces précieux partenariats pour rester à la tête de ce mouvement. »

- John Hepburn, vice-président, Recherche, ICRA

Depuis 10 ans, le Canada a investi plus d'un milliard de dollars dans la R-D consacrée à la science quantique. Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) finance un certain nombre d'initiatives de recherche et de centres d'excellence voués à la science quantique. L'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) appuie deux réseaux internationaux de recherches interdisciplinaires reliées à la science quantique : science de l'information quantique et matériaux quantiques. Le programme Photonique quantique appliquée à la détection et à la sécurité du Conseil national de recherches du Canada collabore avec l'industrie, le gouvernement et les universités à l'élaboration de la plateforme technologique de photonique quantique, ainsi qu'à l'élaboration et à la commercialisation d'applications de cybersécurité quantique et de détection photonique.

En outre, la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) a investi au moins 100 millions de dollars dans l'infrastructure de recherche dans le domaine quantique, et trois prix du Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC) évalués à plus de 200 millions de dollars ont été décernés afin de soutenir des installations et des programmes de recherche dans le domaine quantique.

#### Capacités d'innovation

La communauté quantique est consciente que les applications quantiques pourraient transformer les industries actuelles et en créer de nouvelles. Ces deux courants de croissance technologique sont cohérents avec les principaux objectifs énoncés par l'État dans son Programme d'innovation : « trouver des façons de permettre au Canada de profiter

¹ « Technology Quarterly, Here, there and everywhere: Quantum technology is beginning to come into its own », paru dans The Economist, 9 mars 2017, <a href="http://www.economist.com/technology-quarterly/2017-03-09/quantum-devices">http://www.economist.com/technology-quarterly/2017-03-09/quantum-devices</a> [en anglais seulement] (page consultée le 4 mai 2017).

de technologies émergentes pour créer des emplois et des industries qui n'ont jamais existé auparavant, tout en donnant un nouvel élan aux industries existantes<sup>2</sup>».

« Le Canada compte un des meilleurs centres de recherche en sciences quantiques au monde. Resserrer les liens entre de tels centres ne peut que mieux nous préparer à la révolution quantique. En mettant de côté les frontières et en partageant nos ressources, nous pourrions rehausser encore plus notre excellence dans les sciences quantiques. Le programme des réseaux de centres d'excellence nous donne cette possibilité. »

- Mario Pinto, président, CRSNG

Le Canada possède une solide base d'industries qui devraient profiter des percées des technologies quantiques et dont les capacités de conception, de fabrication et de distribution pourraient favoriser le développement des systèmes et dispositifs quantiques. Il s'agit notamment du secteur canadien de la photonique, au sein duquel environ 400 entreprises emploient plus de 25000 personnes et génèrent ensemble un chiffre d'affaires de près de 4,6 milliards de dollars par an³.

En plus de dynamiser les industries existantes, les technologies quantiques posent déjà les fondations d'industries à venir. En effet, des entreprises canadiennes repoussent les limites actuelles, notamment D-Wave Systems à Vancouver (Colombie-Britannique), Anyon Systems à Dorval (Québec) et de nombreuses jeunes entreprises dans des domaines comme les logiciels de calcul quantique et la détection des ressources naturelles.

- « Le financement de la recherche quantique et l'expertise scientifique placent le Canada parmi les leaders de la science quantique. »
- Peter Knight, Imperial College London

#### Impératif d'agir

Puisque de nombreux pays investissent davantage dans la R-D en science quantique, et étudient ou exécutent des stratégies quantiques nationales, il est de plus en plus urgent pour le Canada de saisir ses propres possibilités dans ce domaine.

La R-D en science quantique entre dans une nouvelle ère où la science produit des applications technologiques commercialisables. Cette transition, souvent qualifiée de « deuxième révolution quantique » ou « quantique 2.0 », pousse d'autres États au premier plan de la science quantique à stimuler les

investissements et à concevoir des stratégies et des plans d'action qui favorisent les innovations dans le domaine quantique. Parmi ces États, notons les États Unis (É.-U.), le R.-U., l'Union européenne, l'Australie et la Chine.

De nombreuses entreprises mondiales du domaine de la technologie veulent aussi leur part de ce que la quantique promet, dont IBM, un chef de file de la R-D en informatique quantique. Le vice-président d'IBM, programmes de sciences physiques et gouvernementaux, Zachary J. Lemnios, qui figurait parmi les conférenciers du symposium de Quantique Canada, a pressé le Canada d'avancer au même rythme que les autres nations et de mettre au point des stratégies concrètes qui lui permettront de puiser des innovations dans les progrès de la recherche.

- « Une réelle occasion se présente au Canada le genre d'occasion que nous ne voyons peut-être qu'une ou deux fois au cours de nos carrières. Le Canada doit agir maintenant il a un an ou deux pour saisir l'occasion. Il est temps pour nous, ingénieurs, scientifiques et experts en politique, de voir plus grand et de nous poser la question suivante : Comment devons-nous croître en tant qu'industrie et en tant qu'entreprise d'ingénierie qui se sert de la recherche pour créer une industrie utile aux gens? »
- L'honorable Zachary J. Lemnios, vice-président, programmes de sciences physiques et gouvernementaux, IBM

#### **Ambitieux projets quantiques**

Les technologies quantiques pourraient faciliter la résolution de problèmes d'envergure pour le Canada dans les domaines des ressources naturelles, de la santé, de l'environnement, de la défense, de la sécurité nationale et plus encore.

- « Fixer des buts de grande envergure et former des partenariats élargis afin de financer des projets de recherche ambitieux qui permettront de résoudre des problèmes complexes à grande échelle et de susciter des possibilités commerciales pour le secteur privé. »
- L'honorable Navdeep Bains, ministre de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique<sup>4</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Innover pour un meilleur Canada : Ce que nous avons entendu, Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2016.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Les technologies de la lumière : Un atout économique stratégique, Sommaire exécutif, Consortium photonique de l'industrie canadienne, 2016.

Parmi les possibilités les plus audacieuses, Quantique Canada a mis en lumière, pour des fins de discussion, deux secteurs liés à la science quantique : la cybersécurité et la défense nationale. Les organismes gouvernementaux qui évoluent dans ces domaines s'efforcent d'adopter rapidement les technologies quantiques, au moyen de travaux de recherche qui peuvent donner lieu à des applications commerciales pour le secteur privé.

# Protection des cybersystèmes et renseignements essentiels

Le Centre de la sécurité des télécommunications Canada (CST) veille systèmes canadiens d'importance. Selon Scott Jones, sous-ministre adjoint responsable du programme de Sécurité des TI du CST, l'émergence de l'informatique quantique menace sérieusement les systèmes canadiens de technologie de l'information et des communications.

« Le Canada peut réussir dans les domaines de l'informatique quantique et de la cryptographie de prochaine génération. Nous avons un choix à faire — à savoir si la science quantique sera une menace pour le chiffrement ou si elle peut constituer une possibilité? Nous devons tous collaborer afin que le Canada de demain soit prêt à évoluer dans l'univers quantique. »

 Scott Jones, sous-ministre adjoint, programme de Sécurité des TI, CST

Au symposium de Quantique Canada, M. Jones a déclaré que l'informatique quantique devrait rendre les méthodes de chiffrement actuelles inefficaces, et c'est pourquoi le CST est chargé de trouver une solution qui protégera les renseignements personnels et classifiés confiés au gouvernement. M. Jones a toutefois insisté pour dire que le CST ne peut y arriver seul. Il a évoqué la nécessité, pour l'industrie, le milieu universitaire et le gouvernement, de rechercher ensemble une solution, et il a souligné l'importance de préparer la prochaine génération de scientifiques, de mathématiciens et d'ingénieurs, de sorte qu'ils possèdent les compétences qu'il faut pour relever le défi quantique.

### Renforcement des capacités de défense du Canada

Autre organisme fédéral effectuant des travaux de recherche sur les technologies quantiques, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) fournit des conseils et des solutions techniques intégrés en matière de sciences et technologie (S et T) au ministère de la Défense nationale, aux Forces armées canadiennes et aux communautés de sécurité publique et de sûreté nationale.

Avec l'émergence de nouvelles et puissantes séries de technologies quantiques de détection, de calcul et de mise au point de matériaux, RDDC étudie de quelle façon les percées dans ce domaine pourraient procurer des capacités de défense supérieures au Canada, en ce qui a trait, par exemple, aux communications, à la surveillance, à la navigation et à l'efficacité opérationnelle.

Des initiatives mondiales stimulent également la recherche quantique reliée à la défense au Canada. Les partenaires du Canada au sein du Groupe des cinq, une alliance pour le partage de renseignements (É.-U., R.-U., Australie et Nouvelle Zélande), étudient eux aussi les applications quantiques. Même si chaque nation doit être dotée de capacités de défense indépendantes, l'alliance tire avantage du transfert de technologies et capacités nouvelles.

# Maintien et accroissement de l'excellence scientifique du Canada

Une des trois grandes questions sur lesquelles la communauté quantique se penche est celle-ci : « Que devons-nous faire pour maintenir et accroître notre excellence scientifique dans le domaine quantique? »

La communauté quantique du Canada reconnaît l'importance de continuer d'investir dans la recherche quantique de base (ou recherche non dirigée). Il sera également important que le Canada conserve une « longueur d'avance » quant à la recherche de base, puisque les connaissances du domaine quantique continuent d'évoluer partout dans le monde.

Du même coup, les chercheurs canadiens en science quantique constatent le besoin et l'avantage d'élargir la recherche appliquée, ou dirigée, en vue de façonner l'innovation.

Les participants à l'atelier de Quantique Canada ont examiné ce que le Canada peut faire pour maintenir et accroître son excellence en science quantique, au moyen de discussions sur les trois composantes considérées comme essentielles au leadership actuel en matière de recherche :

- 1. installations
- 2. personnel hautement qualifié
- 3. collaboration

Les principales idées qui se dégagent de ces discussions sont présentées dans les sections suivantes.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> « Le ministre Bains prononce une allocution sur le thème du Programme d'innovation du Canada », communiqué, Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 19 octobre 2016.

« Il est communément admis que l'innovation est le principal moteur d'une croissance économique durable. De l'innovation émergent de nouveaux marchés, de nouvelles possibilités, de nouvelles technologies, de nouvelles pratiques en matière de santé et de nouveaux traitements pharmacologiques. Mais l'innovation ne naît pas en vase clos. Elle prend naissance dans le savoir et les idées. Elle naît de la compréhension fondamentale du fonctionnement des choses. Elle est le produit de la science et des personnes qui s'y consacrent. »

- L'honorable Kirsty Duncan, Ministre des Sciences<sup>5</sup>

#### **Installations**

#### Forces actuelles et modèles de réussite examinés

L'excellence en science dépend d'installations de recherche hors pair et le Canada est bien loti en la matière. En effet, après des décennies d'investissement, l'État possède des installations de calibre mondial dans divers domaines des sciences quantiques, et ce, dans toutes les grandes régions du pays.

Les participants de l'atelier ont discuté des modèles d'installations efficaces et des programmes connexes de collaboration ainsi que ceux destinés au personnel hautement qualifié (PHQ), notamment:

- > Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC)
- > Institut canadien de recherches avancées (ICRA)
- > Quantum Works
- > Génome Canada
- > Énergie atomique du Canada limitée
- infrastructures à forte intensité de recherche (SNOLAB, astrophysique)
- > Calcul Canada
- modèle de partenariat industriel utilisé par l'Institut d'informatique quantique (IIQ)
- > CANARIE et système ORION

#### Aspects pouvant être améliorés

Les participants ont aussi examiné les difficultés actuelles que posent l'érection et le maintien d'installations de recherche, et ce que l'on pourrait améliorer, notamment ce qui suit.

 Procéder à un inventaire exhaustif de l'infrastructure scientifique (installations et équipement) pour en évaluer les forces et les lacunes, et faciliter l'élaboration d'un plan

- stratégique qui en optimiserait l'exploitation, de même que le partage des ressources et la planification de nouvelles installations éventuelles.
- Capacité des centres de recherche à obtenir des fonds pour alléger leurs coûts d'exploitation et moderniser leurs installations au moment voulu.
- Capacité financière de l'industrie canadienne à investir dans l'infrastructure de recherche, seule ou en tandem avec les universités et les administrations publiques.
- Aptitude des laboratoires gouvernementaux à laisser les petites et moyennes entreprises (PME) utiliser leurs installations pour y effectuer de la recherche et tester des prototypes.

### Activités potentielles discutées en vue de favoriser l'amélioration des installations

Les participants de l'atelier ont discuté d'un certain nombre d'options pour renforcer les installations de recherche quantique et leurs opérations au Canada, notamment :

- > Étudier comment les membres de l'industrie (les jeunes entreprises surtout) pourraient accéder davantage aux laboratoires du gouvernement, à un coût minime ou gratuitement.
- > Examiner les modèles novateurs « axés sur l'utilisateur » (semblables à celui du département de l'Énergie des É.-U.) qui inciteraient les nouvelles installations à favoriser la collaboration et l'excellence en sciences.
- Envisager la création de nouvelles installations qui élargiraient de façon appréciable notre capacité à développer des technologies, par exemple :
  - un centre de fabrication où l'on concevrait des matériaux et des composants pour la recherche liée à la science quantique;
  - une installation à basse température consacrée aux dispositifs électroniques produisant des qubits supraconducteurs;
  - un réseau de fibres optiques illustrant un véritable réseau de recherche sur les technologies de communication quantiques ainsi que de la « fibre noire » qui servirait de banc d'essai lors des collaborations scientifiques;
  - des interfaces pour raccorder réseaux quantiques, satellites de communication, systèmes de détection et infrastructure numérique;
  - des plateformes de démonstration pour les installations nationales, par exemple un réseau national de diffusion de clés quantiques (DCQ) ou un internet quantique;
  - une infrastructure en métrologie, pour étayer les technologies que l'on élabore ou met en place.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Remarques exprimées à la Chambre de commerce de Mississauga par l'honorable Kirsty Duncan, ministre des Sciences, le 5 mai 2017.

> Trouver des moyens pour intensifier la mise en commun des installations par l'entremise des Réseaux de centres d'excellence (RCE) et le rassemblement, sous le même toit, des chercheurs de l'industrie et des chercheurs des laboratoires universitaires et fédéraux.

#### Personnel hautement qualifié

#### Forces examinées

Les membres de la communauté quantique canadienne admettent que le recrutement et la formation de personnel hautement qualifié (PHQ) sont une priorité absolue pour parvenir à l'excellence en recherche. Les participants de l'atelier ont évoqué plusieurs forces du Canada en la matière, en l'occurrence :

- De bons mécanismes de soutien et de financement pour les activités de recherche et le perfectionnement du personnel hautement qualifié (PHQ), notamment le Programme de subventions à la découverte qui s'adresse aux chercheurs en début de carrière.
- La formation en science quantique de qualité dispensée dans les universités canadiennes, entre autres :
  - l'accès des étudiants à d'excellentes installations de recherche;
  - des programmes d'été en science quantique reconnus mondialement.
- Les programmes de bourses solides, y compris pour les étudiants des cycles supérieurs, offerts par les conseils subventionnaires et les universités.
- Les partenariats entre installations de recherche et instituts internationaux qui élargissent les possibilités d'apprentissage et de recherche pour les étudiants.

#### Aspects pouvant être améliorés

Les participants ont aussi parlé des obstacles qui empêchent le Canada d'attirer du PHQ et de le former en recherche quantique, dont la concurrence des autres nations. Ils ont déterminé les aspects qui pourraient être améliorés, à savoir :

- Les programmes de formation qui permettraient aux ingénieurs du domaine quantique d'améliorer leurs compétences dans le passage de la science à la technologie.
- Les façons, pour les étudiants canadiens en science quantique, d'acquérir de l'expérience dans les industries pertinentes et d'accéder à une formation en entrepreneuriat.
- Les politiques d'immigration et les frais de scolarité qui empêchent le Canada d'attirer les étudiants étrangers face à une concurrence mondiale plus féroce au niveau du recrutement.
- La capacité de l'industrie d'établir ses besoins à long terme en personnel, afin d'aider les universités et les administrations publiques à fixer des priorités de formation et à investir stratégiquement.

 La capacité du Canada à inciter les jeunes à entreprendre des études en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM).

### Activités potentielles discutées en vue d'accroître le recrutement et la formation du PHQ

Les participants se sont ensuite intéressés aux activités qui pourraient intensifier le recrutement de PHQ, son perfectionnement et sa mobilité au Canada et ailleurs. Les idées avancées incluaient notamment les suivantes :

- Envisager de nouveaux mécanismes pour exposer les étudiants davantage à d'autres installations et programmes de recherche dans différentes régions du pays et leur permettre d'accéder plus aisément aux installations des laboratoires nationaux.
- Examiner d'éventuels processus accélérés d'immigration afin d'attirer les étudiants et les chercheurs en science quantique des autres pays, de même que des programmes de bourses et de subventions pour les étudiants et les postdoctorants de l'étranger.
- Explorer d'autres réseaux internationaux afin de multiplier les échanges d'étudiants par-delà les frontières.
- Voir si l'on pourrait mettre en place des programmes de formation combinant science et ingénierie, par exemple des diplômes qui allient la physique et le génie à la science quantique.
- Examiner les stratégies de recrutement en STIM des écoles primaires et secondaires, y compris celles qui visent à attirer des éléments féminins dans ces disciplines.
- Envisager le recours aux canaux de communication
  « exerçant un attrait de masse », afin d'augmenter l'intérêt
  que suscite la science quantique (p. ex., une chaîne
  YouTube consacrée à la science quantique).
- Examiner comment on pourrait former les étudiants en entrepreneuriat dans le contexte des technologies quantiques, de manière à favoriser la création d'entreprises quantiques de la prochaine génération.
- Étudier la possibilité de nouveaux partenariats avec l'industrie en vue de créer des profils de carrière en science quantique pour les étudiants.

#### Collaboration

La collaboration entre chercheurs, qu'ils soient du même pays ou d'ailleurs, est à la base même de l'excellence en science. La communauté quantique canadienne estime que ses approches et ses mécanismes en la matière ont concouru à faire du Canada un chef de file parmi les nations qui s'activent dans le domaine quantique, mais elle croit aussi que l'on pourrait en faire plus.

#### Forces et modèles de réussite examinés

Les participants de l'atelier ont examiné plusieurs modèles qui ont fait de la collaboration un succès, par exemple :

- Quantum Works a intensifié la collaboration par divers moyens, comme l'échange d'étudiants et de fréquents ateliers.
- Plusieurs collaborations internationales ont été couronnées de succès, y compris les projets internationaux cofinancés par Génome Canada et d'autres pays, ainsi que la collaboration entre des instituts de recherche étrangers et des centres de recherche universitaires canadiens.
- Certains réseaux de recherche encouragent la collaboration au moyen de mesures incitatives financières.

#### Aspects pouvant être améliorés

Les participants ont admis que des obstacles nuisent à la collaboration, tant au Canada que sur le plan international. Ils ont examiné plusieurs façons d'améliorer la situation.

- Multiplier les outils pour promouvoir et encourager la collaboration.
- Assouplir les ententes-cadres pour soutenir les partenariats entre les laboratoires du gouvernement et des universités, notamment en élargissant le cadre des partenariats actuels entre les universités et l'industrie afin que le gouvernement puisse y prendre part.
- Instaurer de nouveaux mécanismes qui faciliteront les grandes collaborations aux objectifs ambitieux en science et en technologies (« viser les étoiles »).
- Permettre aux Canadiens de faire davantage appel à des collaborateurs de l'étranger pour s'attaquer aux priorités de recherche nationales.

### Activités potentielles discutées en vue d'accroître la collaboration

Les participants ont émis diverses suggestions pour accentuer encore plus la solide réputation acquise par le Canada sur le plan de la collaboration, y compris les suivantes :

- > Examiner comment on pourrait créer des débouchés de recherche mieux ciblés pour attirer divers intervenants, par exemple en centrant la R-D autour d'un « grand défi » en vertu duquel la communauté quantique se mobiliserait pour résoudre un problème précis et réunirait les chercheurs, les experts et les infrastructures les plus utiles pour atteindre l'objectif. Pareille mesure s'inspire du modèle utilisé aux É.-U. par la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).
- Envisager un réseau de collaboration au mécanisme plus souple, auquel adhèreraient facilement les intervenants de l'industrie.
- Examiner la création d'un consortium ou d'un réseau précompétitif de collaboration à la recherche, semblable à celui du R.-U.

- Voir comment on pourrait organiser des rencontres entre chercheurs ou entre chercheurs et membres de l'industrie dans diverses régions afin d'intensifier la collaboration partout au pays.
- Renforcer le dialogue entre la communauté scientifique et l'industrie pour aider la première à mieux saisir les problématiques et les priorités de la seconde et aider celle-ci à mieux comprendre comment la R-D dans le domaine quantique pourrait apporter des solutions.
- Examiner les modèles de collaboration efficaces élaborés ailleurs en vue de les adopter éventuellement :
  - les National Institutes of Standards and Technology (NIST) des É.-U., qui coopèrent étroitement avec le Joint Quantum Institute (JQI) de l'Université du Maryland, et exploitent le JILA — un institut mixte de l'Université du Colorado à Boulder et du NIST;
  - les centres d'excellence australiens, qui jouissent d'un financement à long terme spécifiquement destiné à la collaboration;
  - le modèle « en étoile » du R.-U.
- Choisir un champion qui coordonnerait les intervenants et orchestrerait les efforts déployés au pays afin de soutenir et de faire avancer les travaux dans le domaine quantique au Canada.

#### Stimuler l'innovation

- « Un grand changement se produit. Les gouvernements reconnaissent les immenses possibilités des technologies quantiques émergentes et prennent des mesures pour en tirer parti. Le Canada ne peut se permettre de se croiser les bras. Il doit aussi agir afin de convertir sa force scientifique fondamentale dans le domaine quantique en leadership technologique
- sans quoi il risque de tirer de l'arrière. »
- Peter Knight, Imperial College London

Les participants à l'atelier de Quantique Canada ont discuté de moyens que pourrait prendre le Canada pour mettre au point les mécanismes et systèmes de technologie quantique qui lui procureront les plus grands avantages au titre de l'innovation.

# Forces scientifiques du Canada à potentiel de technologie transformatrice

Les participants à l'atelier ont examiné des domaines au sein desquels l'expertise scientifique du Canada est solide et fournit une base aux applications à potentiel de commercialisation, autrement dit des domaines pour lesquels le Canada est très bien placé pour marquer des « gains » technologiques et économiques.

Dans le sondage effectué en 2016 par Quantique Canada, les répondants devaient nommer les trois principaux secteurs d'application de la R-D quantique au Canada, et ils ont signalé la détection, l'imagerie et la métrologie quantiques; les communications et réseaux quantiques sécurisés; l'informatique et les algorithmes quantiques.

# Solutions quantiques particulièrement pertinentes pour le Canada

Les participants ont discuté d'un autre aspect important du développement technologique : les applications quantiques pouvant répondre aux exigences présentant un intérêt particulier pour le Canada.

La définition des « problèmes purement canadiens » auxquels les technologies quantiques pourraient remédier a comporté un examen de ce qui suit :

- Solutions quantiques remédiant à des problèmes ou difficultés ou améliorant le rendement des principaux secteurs canadiens (p. ex., pétrole, gaz naturel et télécommunications).
- Solutions à l'appui des priorités nationales (p. ex., technologies environnementales et vertes, transformation numérique, sécurité et défense).
- > Solutions qui favorisent de manière plus générale l'atteinte de vastes objectifs économiques, notamment le commerce, la productivité et la croissance économique, et qui sont appliquées par un personnel hautement qualifié.

Les participants à l'atelier ont ensuite examiné des options constituées d'approches et d'activités stratégiques, afin de fournir au Canada les meilleurs moyens de diriger l'innovation quantique.

La section suivante expose les principales idées se dégageant de ces discussions.

### Possibilités des technologies quantiques ayant une forte incidence au Canada

Les participants se sont penchés sur différents facteurs qui pourraient aider la communauté quantique du Canada à déterminer les innovations technologiques réalisables au pays. Parmi ces facteurs figurent l'expertise en recherche quantique, les capacités de l'industrie et les secteurs susceptibles de bénéficier de la résolution de certains problèmes par la technologie quantique.

- Domaines d'expertise en recherche susceptibles de produire des technologies commercialisables :
- > conception de dispositifs quantiques;
- > nouveaux matériaux quantiques;
- > photonique quantique;
- informatique quantique produisant des qubits supraconducteurs ou à l'état solide;
- > théorie et démonstration des communications quantiques;
- > informatique en nuage sécurisé;

- > cryptographie quantique sécurisée;
- modélisation quantique et simulation des ordinateurs quantiques de première génération.

#### 2. Grandes capacités industrielles :

- Fondation d'une industrie de la fabrication en photonique et dispositifs médicaux;
- D-Wave Systems: entreprise canadienne qui propose le premier processeur commercial de recuit quantique au monde;
- entreprises en démarrage fabriquant des logiciels quantiques utilisés pour la cryptographie quantique sécurisée et le calcul quantique.

### 3. Secteurs canadiens pertinents et applications quantiques éventuelles :

- Secteur des ressources naturelles; détection des ressources énergétiques et minières;
- Problèmes environnementaux et climatiques : détection et surveillance des éléments environnementaux, calcul de la réaction efficace de la nitrogénase synthétique;
- Infrastructures essentielles; surveillance des infrastructures essentielles des secteurs de l'énergie et des transports;
- Télécommunications; réseaux sécurisés de communication quantique par satellite et par la fibre optique (Internet quantique);
- Services financiers; modélisation, sécurité et chronométrage de précision;
- Défense; analyse de données massives, communications sécurisées, détection de la furtivité et navigation;
- Agriculture; prévisions météorologiques améliorées et fabrication d'engrais;
- Santé; détection et imagerie améliorées, et simulation de nouveaux médicaments.

#### 4. Domaines pour lesquels des limites physiques classiques ou fondamentales ont été atteintes ou le seront bientôt :

- capteurs de gravité;
- réseaux traditionnels de télécommunications à fibres optiques;
- > positionnement, navigation et synchronisation;
- > détection de la furtivité;
- > télédétection et surveillance de l'environnement;
- détection et imagerie à petite échelle.

#### 5. Synergies entre les forces canadiennes de la R-D :

- > croisement de la photonique et des matériaux;
- > photonique et des télécommunications;
- > photonique et détection quantique;
- croisement de l'informatique quantique et de l'intelligence artificielle.

#### Éventuelles stratégies et activités discutées en vue d'accélérer le développement des technologies quantiques

Les participants ont terminé leur discussion sur les technologies quantiques et l'innovation en avançant des stratégies et des mesures qui pourraient accélérer le passage de la science à la technologie quantique. En voici un florilège.

- Créer un consortium d'intervenants clés. Bien des participants ont suggéré que l'on suive le modèle initial de Génome Canada ou de SEMATECH.
- > Examiner la possibilité d'un partenariat entre le gouvernement et l'industrie, afin de tracer une feuille de route quantique adaptée à la réalité canadienne, comme l'avait fait le secteur des semi-conducteurs au début des années 1970, pour se doter d'une industrie.
- » Bien faire comprendre aux principaux intervenants qu'il est urgent de se manifester pour protéger les intérêts quantiques du Canada et leur signaler les menaces éventuelles (p. ex., pour les méthodes de chiffrement actuelles) ainsi que la valeur ajoutée assortie aux solutions quantiques.
- Déterminer comment on pourrait élaborer des critères pour évaluer les domaines prioritaires, à savoir, examiner par quels autres moyens la communauté quantique et les intervenants pourraient établir les principaux projets ou secteurs dans lesquels investir.
- > Créer diverses tribunes afin de mieux saisir les retombées potentielles de la science quantique.
  - Il pourrait s'agir, entre autres, de tribunes s'adressant à des utilisateurs ou à des secteurs précis, qui permettraient aux scientifiques d'en apprendre davantage sur les problématiques et sur l'impact éventuel des technologies quantiques.
  - Il faudrait mieux faire connaître et comprendre le potentiel des technologies quantiques dans le contexte des plateformes existantes (entreprises de communication, d'informatique et de détection) et des secteurs de l'industrie canadienne (santé, environnement, énergie, mines, agriculture, finances, etc.).
  - On devrait établir des liens avec des associations industrielles et certaines entreprises, afin d'étudier les possibilités de mobilisation.
  - Le Réseau photonique du Québec, réseau d'entreprises dans le domaine de la photonique, pourrait servir de modèle pour amorcer le dialogue.
- > Voir si l'on pourrait inciter le gouvernement à être parmi les premiers qui adoptent les innovations et testent les prototypes. Ainsi, on passerait plus vite aux projets de prototypage et de démonstration, comme on l'a fait au R.-U. Il est plus facile d'attirer les investisseurs quand les prototypes sont au point.
- > Favoriser une culture de création d'entreprises :

- Le programme de formation FONCER, du CRSNG, est un excellent modèle pour aider les étudiants à acquérir l'esprit d'entreprise.
- La création d'incubateurs dans les centres de recherche pourrait être une solution.
- Il faut prioriser les industries qui favorisent la culture de création d'entreprises (p. ex., l'informatique quantique).
- Examiner comment on pourrait faciliter le transfert rapide des connaissances qui sont réinjectées au Canada. On pourrait, par exemple, laisser les étudiants faire des stages dans des entreprises réputées du domaine quantique, à l'étranger, en les encourageant à revenir au Canada par divers moyens.
- Créer des plateformes pour discuter de grands défis, comme celle de la DARPA, aux É.-U., où les chercheurs en défense cernent un problème, puis constituent momentanément une équipe incluant notamment des experts de l'industrie en vue de le résoudre.
- Songer à élaborer les normes, les méthodes d'étalonnage de l'équipement et la métrologie nécessaires pour faciliter l'adoption des technologies.
- Structurer les technologies quantiques pour en faire une plateforme technologique à laquelle se grefferont d'autres technologies.
- > Encourager les demandes de brevet avec des programmes de subvention, s'il y a lieu.
  - « Les technologies quantiques représentent sans doute l'innovation la plus révolutionnaire dont le Canada pourrait se rendre maître mondialement. Nous disposons de travaux de recherche de première classe et d'intervenants engagés au sein de l'industrie et du gouvernement. Saisir cette occasion nous aidera à améliorer la qualité de vie des Canadiens. »
  - Ben Sussman, responsable du programme Photonique quantique appliquée à la détection et à la sécurité, CNRC

#### **Autres questions à discuter**

Les participants ont convenu qu'il vaudrait la peine de se pencher sur les sujets que voici lors de rencontres ultérieures :

- > Modèles de gouvernance de la communauté quantique
- Mécanismes permettant d'intégrer les priorités fédérales et provinciales quand on planifie la R-D
- Tactiques pour convaincre les professionnels du domaine quantique de ne pas aller ailleurs, mais de rester au Canada

#### **Prochaines étapes**

L'atelier de Quantique Canada s'est conclu par une discussion sur les prochaines étapes clés.

- 1. Les participants se sont entendus pour organiser des ateliers où les chercheurs du domaine quantique et les intervenants d'industries spécifiques examineront les applications présentant une utilité pour tel ou tel secteur. Parmi les parties prenantes avec lesquelles il faudrait prendre contact figurent les suivantes :
- > fabricants d'équipement;
- > entrepreneurs du secteur de la défense;
- > intervenants du secteur de la santé;
- intervenants des secteurs de l'énergie, des ressources naturelles et de l'exploitation minière;
- fournisseurs de services de télécommunication; fabricants d'appareils de télécommunication;
- fournisseurs de services financiers et techniques, et banques;
- fabricants perfectionnés, entreprises d'usinage au laser, autres fabricants liés à la photonique;
- > sociétés de capital-risque;
- spécialistes de l'apprentissage automatisé croisement entre l'apprentissage automatisé et la science quantique;
- > gouvernements provinciaux.
- On a convenu d'utiliser les idées avancées pendant afin de tenir d'autres exercices de consultation et de travailler à la rédaction de ébauche d'une stratégie quantique nationale d'ici l'automne 2017.

Participants ont convenu d'amener les membres de la communauté quantique à collaborer et à communiquer davantage en vue d'atteindre le but commun, qui est de faire en sorte que le Canada demeure un chef de file mondial dans le domaine de la science quantique et en devienne un dans celui des technologies et des industries quantiques.

Les membres de la communauté sont persuadés que le Canada pourrait se servir de son excellence en science quantique pour engendrer les innovations dont l'économie, l'environnement et la population du Canada profiteront au cours des décennies à venir. Ils sont également convaincus qu'il faut saisir cette chance maintenant, car d'autres pays, également actifs dans ce domaine, n'hésiteront pas à aller de l'avant pour se doter d'un avantage concurrentiel dans ce secteur transformationnel de la technologie.

#### Annexe A: Glossaire

CNRC Conseil national de recherches du Canada

**CRSNG** Conseil de recherches en sciences naturelles

et en génie

**CST** Centre de la sécurité des

télécommunications Canada

**DARPA** Defense Advanced Research Projects Agency

**DCQ** Distribution de clé quantique

**É.-U.** États-Unis

FCI Fondation canadienne pour l'innovation

FERAC Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada

ICRA Institut canadien de recherches avancées

**IIQ** Institut de l'informatique quantique

JQI Joint Quantum Institute

NIST National Institutes of Standards and Technology

PHQ Personnel hautement qualifié

**PME** Petites et moyennes entreprises

**R.-U.** Royaume Uni

RCE Réseaux de centres d'excellence

**R-D** Recherche-développement

**RDDC** Recherche et développement pour

la défense Canada

S et T Sciences et technologie

**STIM** Sciences, technologie, ingénierie et

mathématiques

QuantumCanada@nrc-cnrc.gc.ca www.nrc-cnrc.gc.ca/quantiquecanada