



CHAMBRE DES COMMUNES
HOUSE OF COMMONS
CANADA

COMMENT LE CANADA PEUT DEMEURER UN CHEF DE FILE DANS LE MARATHON QUANTIQUE MONDIAL?

**Rapport du Comité permanent de l'industrie et de la
technologie**

Joël Lightbound, président

**SEPTEMBRE 2022
44^e LÉGISLATURE, 1^{re} SESSION**

Publié en conformité de l'autorité du Président de la Chambre des communes

PERMISSION DU PRÉSIDENT

Les délibérations de la Chambre des communes et de ses comités sont mises à la disposition du public pour mieux le renseigner. La Chambre conserve néanmoins son privilège parlementaire de contrôler la publication et la diffusion des délibérations et elle possède tous les droits d'auteur sur celles-ci.

Il est permis de reproduire les délibérations de la Chambre et de ses comités, en tout ou en partie, sur n'importe quel support, pourvu que la reproduction soit exacte et qu'elle ne soit pas présentée comme version officielle. Il n'est toutefois pas permis de reproduire, de distribuer ou d'utiliser les délibérations à des fins commerciales visant la réalisation d'un profit financier. Toute reproduction ou utilisation non permise ou non formellement autorisée peut être considérée comme une violation du droit d'auteur aux termes de la *Loi sur le droit d'auteur*. Une autorisation formelle peut être obtenue sur présentation d'une demande écrite au Bureau du Président de la Chambre.

La reproduction conforme à la présente permission ne constitue pas une publication sous l'autorité de la Chambre. Le privilège absolu qui s'applique aux délibérations de la Chambre ne s'étend pas aux reproductions permises. Lorsqu'une reproduction comprend des mémoires présentés à un comité de la Chambre, il peut être nécessaire d'obtenir de leurs auteurs l'autorisation de les reproduire, conformément à la *Loi sur le droit d'auteur*.

La présente permission ne porte pas atteinte aux privilèges, pouvoirs, immunités et droits de la Chambre et de ses comités. Il est entendu que cette permission ne touche pas l'interdiction de contester ou de mettre en cause les délibérations de la Chambre devant les tribunaux ou autrement. La Chambre conserve le droit et le privilège de déclarer l'utilisateur coupable d'outrage au Parlement lorsque la reproduction ou l'utilisation n'est pas conforme à la présente permission.

Aussi disponible sur le site Web de la Chambre des communes à l'adresse suivante : www.noscommunes.ca

**COMMENT LE CANADA PEUT DEMEURER UN
CHEF DE FILE DANS LE MARATHON
QUANTIQUE MONDIAL?**

**Rapport du Comité permanent
de l'industrie et de la technologie**

**Le président
Joël Lightbound**

SEPTEMBRE 2022

44^e LÉGISLATURE, 1^{re} SESSION

AVIS AU LECTEUR

Rapports de comités présentés à la Chambre des communes

C'est en déposant un rapport à la Chambre des communes qu'un comité rend publiques ses conclusions et recommandations sur un sujet particulier. Les rapports de fond portant sur une question particulière contiennent un sommaire des témoignages entendus, les recommandations formulées par le comité et les motifs à l'appui de ces recommandations.

COMITÉ PERMANENT DE L'INDUSTRIE ET DE LA TECHNOLOGIE

PRÉSIDENT

Joël Lightbound

VICE-PRÉSIDENTS

Michael Kram

Sébastien Lemire

MEMBRES

Gérard Deltell

Han Dong

Nathaniel Erskine-Smith

Andy Fillmore

Iqwinder Gaheer

Bernard Généreux

Tracy Gray

Viviane Lapointe

Brian Masse

AUTRES DÉPUTÉS QUI ONT PARTICIPÉ

Taylor Bachrach

Maxime Blanchette-Joncas

Chad Collins

Darren Fisher

Chris Lewis

GREFFIER DU COMITÉ

Michael MacPherson

BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Services d'information, d'éducation et de recherche parlementaires

Sarah Lemelin-Bellerose, analyste

Scott McTaggart, analyste

LE COMITÉ PERMANENT DE L'INDUSTRIE ET DE LA TECHNOLOGY

a l'honneur de présenter son

SIXIÈME RAPPORT

Conformément au mandat que lui confère l'article 108(2) du Règlement, le Comité a étudié l'informatique quantique et a convenu de faire rapport de ce qui suit :

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
LISTE DES RECOMMANDATIONS.....	3
COMMENT LE CANADA PEUT DEMEURER UN CHEF DE FILE DANS LE MARATHON QUANTIQUE MONDIAL?	7
Introduction.....	7
Aperçu de l’informatique quantique.....	7
Survol de la technologie.....	7
État du développement.....	12
Stratégie quantique nationale	14
Financement.....	18
Risques émergents en matière de cybersécurité	21
À court terme	22
À plus long terme.....	25
Contexte international.....	26
Nombreuses possibilités.....	29
Détecteurs quantiques	29
Développement des capacités de fabrication.....	29
Retombées économiques.....	32
Bâtir des écosystèmes.....	33
Programmes	33
Gestion de talent.....	37
Développer.....	38
Attirer et garder	44
Coordination des efforts	47
Observations et recommandations.....	50
ANNEXE A LISTE DES TÉMOINS.....	57

ANNEXE B LISTE DES MÉMOIRES	59
DEMANDE DE RÉPONSE DU GOUVERNEMENT	61

SOMMAIRE

Au Canada, comme à l'international, les gouvernements ainsi que les parties prenantes issues du milieu universitaire et les entreprises privées travaillent de façon ardue depuis plusieurs années pour développer les technologies quantiques. Ces technologies pourraient présenter des opportunités incroyables, mais aussi des menaces importantes. Par exemple, lorsque développé à termes, dans 10 à 20 selon plusieurs experts, l'ordinateur quantique pourrait, d'une part, être capable de briser la cryptographie actuelle, mettant à risques toutes les communications en ligne, notamment celles des systèmes bancaires et des infrastructures essentielles. D'autre part, il pourrait effectuer des calculs pour lesquels il faudrait des milliards d'années aux superordinateurs les plus rapides d'aujourd'hui, permettant entre autres d'accélérer la découverte de médicaments, faciliter la gestion de la chaîne d'approvisionnement et résoudre des problèmes financiers complexes.

Le Canada est un meneur dans le développement des technologies quantiques depuis les dernières décennies, mais fait face à certaines embuches pour maintenir cette position à plus long terme. De plus, plusieurs pays, notamment les États-Unis, la France et la République populaire de Chine ont développé des stratégies agressives pour développer les technologies quantiques et compétitionnent avec le Canada pour développer le premier ordinateur quantique universel résistant aux défaillances.

Le Comité permanent de l'industrie et de la technologie de la Chambre des communes a formulé 11 recommandations dans son rapport au Gouvernement du Canada. Par exemple, il lui a recommandé de développer une Stratégie quantique nationale qui soutient les écosystèmes quantiques au pays en offrant des ressources suffisantes et des programmes ciblés; de développer une approche coordonnée pour soutenir le développement et la rétention du talent en quantique au pays lors de la mise en œuvre de sa Stratégie quantique nationale; et de s'assurer qu'il y ait une cohésion entre les différentes initiatives et entre le soutien offert aux chercheurs et aux entreprises, afin de bâtir des écosystèmes quantiques forts à travers le pays. Pour protéger les différents secteurs des cybermenaces découlant des technologies quantiques, le Comité a recommandé de développer le plus rapidement possible une stratégie pour protéger les systèmes de chiffrement actuels à divers niveaux en collaboration avec les parties prenantes du milieu.

LISTE DES RECOMMANDATIONS

À l'issue de leurs délibérations, les comités peuvent faire des recommandations à la Chambre des communes ou au gouvernement et les inclure dans leurs rapports. Les recommandations relatives à la présente étude se trouvent énumérées ci-après.

Recommandation 1

Que le Gouvernement du Canada, en consultation avec des experts de l'industrie quantique, s'assure que la Stratégie quantique nationale offre suffisamment de ressources, et ce, de façon stratégique, aux différentes parties prenantes de l'industrie quantique au pays, afin de soutenir adéquatement le développement des technologies les plus prometteuses. Pour ce faire, il pourrait par exemple, en collaboration avec le Conseil national de recherches Canada, lancer davantage de défis quantiques ciblés avec une enveloppe de fonds proportionnelle à l'ampleur du défi annoncé..... 50

Recommandation 2

Que le gouvernement suive de près l'évolution de l'industrie du capital de risque dans l'industrie des matériaux avancés et des technologies quantiques et mette en place de nouveaux fonds, soutenus par le gouvernement et les partenaires, mieux adaptés pour aider les jeunes entreprises innovantes, à fort potentiel de croissance, incluant celles situées à l'extérieur des grands centres métropolitains, à avoir accès à du capital d'investissement au stade de l'amorçage. 50

Recommandation 3

Que le gouvernement du Canada veille à s'assurer d'une offre constante de capitaux de risque tout au long de la chaîne de financement des entreprises, afin que leurs projets les plus prometteurs puissent obtenir un financement adapté et qu'il travaille en étroite collaboration avec les provinces et territoires qui possèdent déjà des stratégies ou un Centre d'excellence, tout en favorisant la participation du secteur privé. 50

Recommandation 4

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada, en coordination avec le Conseil national de recherches Canada, le Service canadien du renseignement de sécurité et le Centre de la sécurité des télécommunications, et conjointement avec les parties prenantes du secteur bancaire, des réseaux électriques, des installations nucléaires, des communications gouvernementales, des communications militaires et d'autres industries touchées, développe le plus rapidement possible une stratégie pour protéger les systèmes de chiffrement actuels à divers niveaux :

- À court terme pour que les données ne soient pas emmagasinées par des groupes ou des organisations mal intentionnées;
- À plus long terme pour protéger les systèmes des risques posés par l'informatique quantique. 51

Recommandation 5

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada mette en place les investissements nécessaires pour bâtir une chaîne d'approvisionnement résiliente et robuste pour les matériaux avancés et pour développer la capacité de fabrication commerciale de ces matériaux au pays afin de soutenir de façon continue la croissance des industries de technologie avancée. Ceci permettra aussi de travailler vers une souveraineté numérique afin de protéger l'industrie des risques que pose la dépendance aux chaînes d'approvisionnement à l'extérieur du pays. 52

Recommandation 6

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada développe une approche coordonnée pour soutenir le développement et la rétention du talent en quantique au pays. Cette approche pourrait comprendre:

- Mettre en place des initiatives pour stimuler la participation des groupes sous-représentés dans les sciences, notamment les personnes racialisées, les femmes et les Autochtones;

- Établir, en collaboration avec les universités, un programme national de formation quantique pour soutenir le développement de l'expertise en quantique, attirer le talent international et stimuler la collaboration entre les chercheurs à travers le pays;
- Faciliter l'attribution de visas pour les individus voulant venir étudier ou travailler dans le secteur quantique au pays; et
- Accélérer le processus d'immigration pour s'assurer que les étudiants formés au pays peuvent y demeurer pour travailler dans le secteur quantique. 52

Recommandation 7

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada se dote d'une équipe quantique dédiée et indépendante afin de pouvoir évaluer les projets soumis dans le cadre d'initiatives quantiques et de faire l'acquisition d'outils quantiques pour soutenir les travaux des chercheurs et des entreprises au pays. 53

Recommandation 8

Que le Gouvernement du Canada s'assure que les programmes mis en place dans le cadre de la Stratégie quantique nationale soutiennent adéquatement les besoins des différentes parties prenantes de l'industrie quantique, en offrant notamment du financement plus substantiel en temps opportun et à plus long terme pour refléter la réalité de développer les technologies quantiques, notamment l'ordinateur quantique. 53

Recommandation 9

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada mette en place un programme de type bac à sable pour soutenir la mise en place d'applications qui répondent aux problèmes des différentes industries à travers le pays et ainsi accélérer leur commercialisation. 54

Recommandation 10

Que le Gouvernement du Canada, lors de la mise en œuvre de sa Stratégie quantique nationale, s’assure qu’il y ait une cohésion entre les différentes initiatives et entre le soutien offert aux chercheurs et aux entreprises, afin de bâtir des écosystèmes quantiques forts à travers le pays qui permettront de promouvoir le développement de talent, d’attirer les entreprises et d’ultimement faire progresser le Canada dans son objectif d’être un chef de file mondial en quantique. 54

Recommandation 11

Que le gouvernement du Canada s'efforce de terminer et de publier la Stratégie quantique nationale avant le 1^{er} mars 2023, et si ce délai n'est pas respecté, que le ministre de l'Innovation, des Sciences et de l'Industrie, ainsi que les fonctionnaires ministériels concernés, comparaissent devant le Comité permanent de l'industrie et de la technologie de la Chambre des communes pendant au moins deux heures pour fournir une mise à jour sur l'état et le développement de cette stratégie. 54



COMMENT LE CANADA PEUT DEMEURER UN CHEF DE FILE DANS LE MARATHON QUANTIQUE MONDIAL?

INTRODUCTION

Le 1^{er} mars 2022, le Comité permanent de l'industrie et de la technologie de la Chambre de communes a convenu d'entreprendre une étude sur l'informatique quantique pour comprendre les opportunités et les risques y étant associés et avoir « un aperçu de l'industrie nationale de l'informatique quantique et des mesures prises pour s'assurer que le Canada conserve ses talents et ses avantages concurrentiels »¹. Dans le cadre de cette étude, le Comité a entendu 20 témoins et reçu deux mémoires entre mars et avril 2022.

APERÇU DE L'INFORMATIQUE QUANTIQUE

Survol de la technologie

Grâce à leurs propriétés issues des comportements de la matière à l'échelle atomique et subatomique, les systèmes quantiques pourraient être très puissants. Les systèmes classiques pour encoder utilisent des signaux binaires (0 ou 1), mesurés en bits, alors que les systèmes quantiques utilisent plutôt des signaux mesurés en qubits qui peuvent avoir une valeur de 0, 1 ou les deux à la fois (phénomène de superposition). Cette superposition donne de la puissance aux systèmes quantiques en leur permettant d'accomplir plusieurs calculs simultanément. En contrôlant les comportements des particules, les chercheurs peuvent les manipuler afin de les encoder, permettant diverses applications. Les qubits sont actuellement difficiles à manipuler et encoder, car ils sont très instables. En effet, dès qu'il y a une perturbation, la superposition des qubits s'effondre, ce qui détruit l'information encodée. Ils doivent donc être isolés de diverses façons de leur environnement pour pouvoir être manipulés. En raison de cette

1 Chambre des communes, Comité permanent de l'industrie et de la technologie [INDU], [Procès-verbal](#), réunion 10, 1 mars 2022.



instabilité, les systèmes quantiques ne peuvent actuellement qu’être exploités dans les laboratoires².

L’ordinateur quantique est un outil qui utilise la mécanique quantique pour manipuler l’information. Puisque les chercheurs sont encore dans une phase exploratoire, les ordinateurs quantiques actuellement développés ont des caractéristiques qui varient selon le système utilisé pour les concevoir, chacun ayant ses avantages et inconvénients³. Ultiment, les chercheurs veulent développer un ordinateur quantique universel qui ne sera plus sensible aux défaillances issues de l’instabilité des qubits. Les témoins ont expliqué que les chercheurs ont connu d’importantes percées dans les dernières années et s’en approchent de plus en plus⁴.

Une des caractéristiques les plus intéressantes de ces ordinateurs est la vitesse à laquelle ils peuvent traiter l’information. Grâce au phénomène de superposition des qubits, ces derniers peuvent simultanément faire plusieurs actions, ce qui explique la puissance de calcul d’un ordinateur quantique⁵. L’ordinateur quantique ne sera pas plus efficace qu’un ordinateur classique sur tous les plans, mais pourra effectuer certains calculs considérablement plus rapidement⁶. Alexandre Blais, professeur et directeur scientifique de l’Institut quantique de Sherbrooke a d’ailleurs affirmé : « un ordinateur quantique pourrait effectuer des calculs pour lesquels il faudrait des milliards d’années aux superordinateurs les plus rapides d’aujourd’hui »⁷. Ainsi, il pourrait par exemple permettre d’accélérer et d’optimiser la découverte de médicaments et la découverte de

2 Johnny Kung et Muriam Fancy, *Une révolution quantique : Rapport sur les politiques mondiales en matière de technologies quantiques*, Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR), avril 2021; et Catherine Florès, « [Les constructeurs de l’avenir quantique](#) », *Magazine Poly*, Polytechnique Montréal, 1^{er} mars 2019.

3 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1540 (Raymond Laflamme, À titre personnel), INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1320 (Allison Schwartz, D-Wave Systems Inc. (D-Wave)).

4 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1405 (Alexandra Blais, À titre personnel), INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1410 (Norbert Lütkenhaus, À titre personnel) INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1305 (Anne Broadbent, À titre personnel).

5 Johnny Kung et Muriam Fancy, *Une révolution quantique : Rapport sur les politiques mondiales en matière de technologies quantiques*, Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR), avril 2021; et Catherine Florès, « [Les constructeurs de l’avenir quantique](#) », *Magazine Poly*, Polytechnique Montréal, 1^{er} mars 2019.

6 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1405 (Blais), INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1555 (Rafal Janik, Xanadu Quantum Technologies Inc.), INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1545 (Alireza Yazdi, Anyon Systems Inc.), INDU, *Témoignages*, 5 avril 2022, 1650 (Gilles Brassard, À titre personnel), IBM Canada, *Mémoire*.

7 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1405 (Blais).

matériaux⁸. Il pourrait aussi permettre de résoudre des problèmes financiers complexes⁹. Pour le domaine médical, Jaron Chong, Association canadienne des radiologistes, a ajouté que

Selon certains travaux théoriques, aborder certains problèmes d'entraînement des réseaux neuronaux comme un problème de calcul quantique permettrait l'application des avantages qui existent pour le déchiffrement d'un message chiffré à l'entraînement d'un réseau neuronal. Cela permettrait d'exécuter plusieurs calculs simultanément et d'accélérer considérablement le temps d'entraînement¹⁰.

« Un ordinateur quantique pourrait effectuer des calculs pour lesquels il faudrait des milliards d'années aux superordinateurs les plus rapides d'aujourd'hui. »

Les ordinateurs quantiques seront particulièrement utiles pour résoudre les problèmes combinatoires, c'est-à-dire des problèmes cherchant à organiser plusieurs éléments pour trouver la solution optimale. Dans ces problèmes, le nombre de possibilités croît de façon exponentielle chaque fois qu'on y ajoute un élément, augmentant la complexité du problème. Le niveau de

complexité d'un problème augmente le temps nécessaire à un ordinateur classique pour le résoudre, car il doit essayer chaque permutation possible afin de trouver la bonne, contrairement à l'ordinateur quantique qui peut effectuer ces tâches simultanément¹¹. Résoudre ce type de problème beaucoup plus rapidement permettra aux entreprises d'économiser des coûts importants, car plusieurs activités dans divers secteurs sont en fait des problèmes combinatoires. La figure 1 présente des exemples de types de problèmes combinatoires par secteur qui pourraient être résolus grâce aux ordinateurs quantiques.

8 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1425 (Stéphanie Simmons, Photonic Inc.), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1550 (Jaron Chong, Association canadienne des radiologistes), IBM Canada, [Mémoire](#).

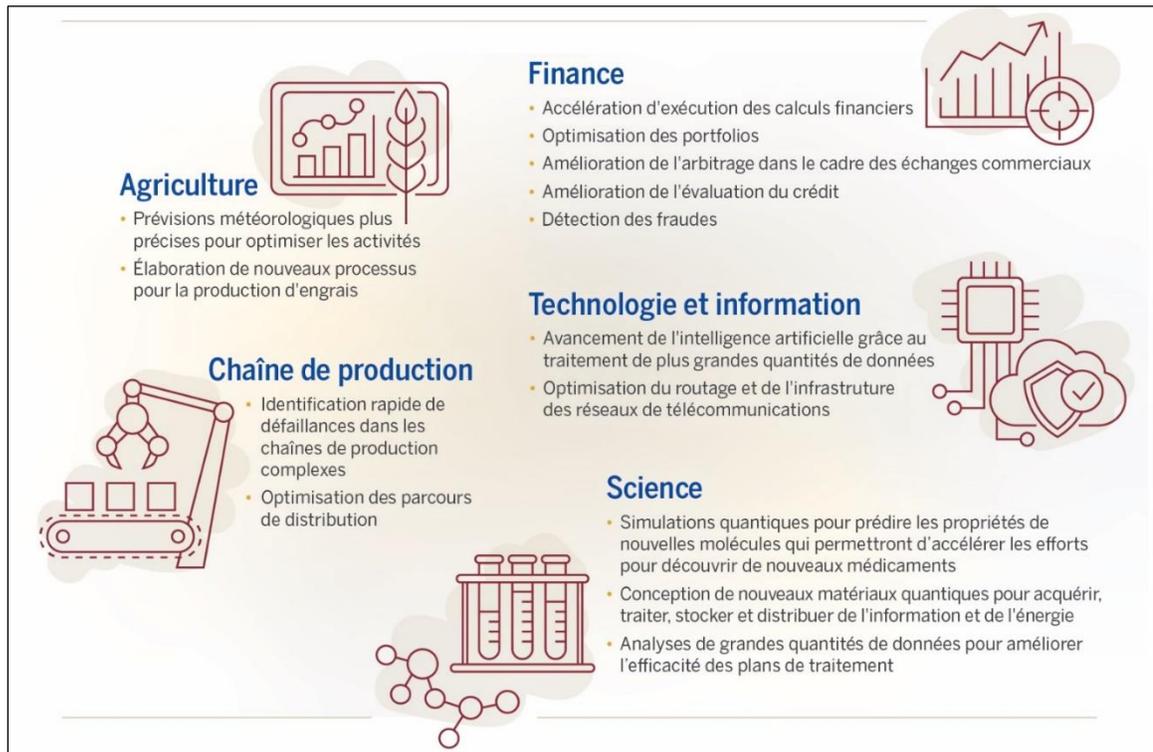
9 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1610 (Brassard), IBM Canada, [Mémoire](#).

10 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1615 (Chong).

11 Francesco Bova, Avi Goldfarb et Roger Melko, [Quantum Computing is Coming. What can it do?](#), Harvard Business Review, 16 juillet 2021. [DISPONIBLE EN ANGLAIS SEULEMENT]



Figure 1 — Exemples de types de problèmes combinatoires par secteur qui pourraient être résolus grâce aux ordinateurs quantiques



Sources : Figure préparée par la Bibliothèque du Parlement à partir d'informations tirées de Francesco Bova, Avi Goldfarb et Roger G. Melko, « [Commercial applications of quantum computing](#) », *EPJ Quantum Technology*, vol. 8, no 2, 2021; Francesco Bova, Avi Goldfarb et Roger Melko, « [Quantum Computing is Coming. What can it Do?](#) », *Harvard Business Review*, 16 juillet 2021; et Mark Haddad et al., *L'Informatique Quantique : la 5e révolution*, PricewaterhouseCoopers, 2019.

Des témoins ont discuté des répercussions potentielles de l'informatique quantique sur l'intelligence artificielle (IA). Depuis plusieurs années, avec l'augmentation de la puissance des ordinateurs et de l'accessibilité à de grands ensembles de données (*big data*), l'application de l'IA la plus courante est l'apprentissage automatique (*machine learning*). Plutôt que d'être programmés pour résoudre un problème avec des instructions logiques, les algorithmes de l'apprentissage automatique classent et compilent des données pour ensuite dégager des tendances et offrir un meilleur rendement subséquent¹². Raymond Laflamme, détenteur de la Chaire de recherche

12 Matthew Smith et Sujaya Neupane, *Intelligence artificielle et développement humain : vers un programme de recherche*, Centre de recherches pour le développement international, avril 2018, p. 113.

du Canada sur l'informatique quantique, considérait qu'il était trop tôt dans le développement de l'ordinateur quantique pour prédire ses répercussions sur l'IA¹³. Selon Rafal Janik, Xanadu Quantum Technologies inc., l'ordinateur quantique accélérera l'apprentissage automatique et d'autres applications de l'IA, mais seulement dans 10 à 20 ans¹⁴.

Considérant sa complexité, l'ordinateur quantique et son industrie se développent à long terme. Des témoins croyaient qu'un ordinateur quantique tolérant aux erreurs serait disponible dans environ 10 ans¹⁵. Stéphanie Simmons, Photonic inc., croyait plutôt qu'il pourrait être disponible bien plus vite que les experts le prédisent¹⁶. M. Laflamme a ajouté qu'un doctorat prend environ cinq ans alors que bâtir un ordinateur quantique sera beaucoup plus long à construire que cette période, les chercheurs y travaillant devant donc continuer leurs travaux après leurs études¹⁷. Considérant son développement à long terme, des témoins ont souligné l'importance pour le gouvernement fédéral de soutenir le développement à long terme des systèmes quantiques complets au Canada, incluant notamment le développement de talent et le soutien à la recherche à plusieurs niveaux¹⁸. Norbert Lütkenhaus, directeur général, Institut d'informatique quantique, a affirmé : « N'oubliez jamais que, si vous voulez avoir des cerises, vous devez planter un cerisier. Les cerises ne tombent pas du ciel. Vous avez besoin d'un système entier. »¹⁹

Même si elles se développent à long terme, les technologies quantiques peuvent être utiles à court terme. Par exemple, Alison Schwartz, D-Wave Systems Inc. (D-Wave), a expliqué qu'en 2020, D-Wave a lancé sur le marché le système quantique *Advantage*, un solveur hybride de services qui combine les technologies classiques et quantiques grâce au nuage. Selon Mme Schwartz, le nuage est un « outil clé supplémentaire pour promouvoir une utilisation diversifiée de la technologie »²⁰. Mme Schwartz se questionnait d'ailleurs pourquoi le gouvernement fédéral n'utilisait pas déjà les

13 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1725 (Laflamme).

14 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1730 (Janik).

15 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1615 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1650 (Yazdi), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1610 (Brassard).

16 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

17 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1700 (Laflamme).

18 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1315 (Andrew Fursman, 1 QB Information Technologies Inc.), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415 (Lütkenhaus).

19 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415 (Lütkenhaus).

20 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Schwartz).



technologies quantiques à sa disposition pour résoudre certains problèmes complexes comme d'autres pays le font. Par exemple, le Japon considère les utiliser pour « le pilotage et l'optimisation des routes d'évacuation en cas de tsunami, ainsi que pour la réduction des émissions de CO2 pendant la collecte des déchets »²¹. Andrew Fursman, 1QB Information Technologies inc., ne partageait pas cette position, et croyait plutôt que les ordinateurs quantiques n'étaient pas encore assez développés pour être utilisés à l'extérieur des centres de recherche²².

État du développement

« L'informatique et la technologie quantiques offrent une occasion incroyable au Canada. »

Le Canada a historiquement été un chef de file dans le domaine des technologies quantiques²³. Selon Nipun Vats, sous-ministre adjoint, Secteur des sciences et de la recherche, Innovation, Science et Développement économique Canada, les forces du Canada dans les technologies quantiques sont notamment l'informatique

quantique, la communication quantique et la cryptographie quantique. Il a souligné que depuis 10 ans, le gouvernement fédéral a investi plus d'un milliard de dollars pour divers projets dans l'écosystème quantique canadien²⁴. Selon lui, le Canada est un chef de file de la science quantique grâce aux investissements du pays à long terme dans la recherche fondamentale et appliquée qui ont permis aux chercheurs canadiens de mener le développement d'innovations en science quantique²⁵. M. Blais croyait aussi que ce financement avait aidé les chercheurs canadiens, mais a toutefois ajouté qu'avec « un peu de recul, on peut presque affirmer que le Canada a atteint par hasard cette place en recherche quantique, et cela grâce aux efforts de chercheurs et d'établissements individuels qui utilisent des programmes concurrentiels existants »²⁶.

21 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1440 (Schwartz).

22 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Fursman).

23 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1305 (Nipun Vats, Innovation, Sciences et Développement économiques Canada), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard).

24 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1305 (Vats).

25 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1305 (Vats).

26 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais).

Selon M. Vats, l'écosystème canadien des technologies quantiques est en pleine croissance. Pour expliquer cette croissance, il a notamment souligné qu'il y a des centres d'expertises en technologies quantiques dans les universités à travers le pays et que le secteur privé offre du financement considérable à l'industrie. D'ailleurs, certaines entreprises canadiennes ont réalisé des premières quantiques mondiales. Le tableau 1 présente les travaux dans le domaine quantique des quatre grands centres d'expertise quantique au pays. M. Vats a expliqué que les forces de chacune de ces régions sont complémentaires et que la collaboration entre les chercheurs au pays contribuera au succès futur du pays en quantique²⁷. Il a aussi souligné que puisque les technologies quantiques sont complexes, elles ne peuvent pas être toutes développées dans un pays, démontrant le besoin de collaboration internationale. La collaboration internationale se fait toutefois actuellement plus au niveau des chercheurs que des pays²⁸. M. Laflamme a ajouté que depuis environ cinq ans, les chercheurs travaillent aussi pour mettre en place des applications pour les différentes industries²⁹. Selon lui, « [l]'informatique et la technologie quantiques offrent une occasion incroyable au Canada. »³⁰

27 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1305 (Vats).

28 *Ibid.*

29 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1615 (Laflamme).

30 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1540 (Laflamme).



Tableau 1 — Exemples de travaux dans les quatre grands centres d’expertise quantique du Canada

Région	Exemples d’activités dans le domaine quantique
Toronto-Waterloo	<ul style="list-style-type: none">• Ses travaux portent notamment sur les domaines quantiques de l’information, des communications et des capteurs, avec des accélérateurs de commercialisation et des incubateurs dans la région, tels que des entreprises comme Xanadu et Ranovus.• L’Institut de l’informatique quantique, situé à l’université de Waterloo, est la plus grande institution de ce type au monde.
Corridor grand Montréal, Sherbrooke-Québec	<ul style="list-style-type: none">• Ses travaux portent notamment sur le matériel et les dispositifs quantiques.• Les entreprises engagées dans cet écosystème sont notamment IBM, Anyon Systems et SB Quantum.
Corridor Calgary-Edmonton	<ul style="list-style-type: none">• Ses travaux portent notamment sur les nanotechnologies et les technologies habilitantes.• L’Alberta met en place un réseau quantique provincial, Quantum Alberta, pour encourager et accélérer la commercialisation des technologies quantiques.
Grand Vancouver	<ul style="list-style-type: none">• Ses travaux portent notamment sur le développement d’algorithmes et de matériel quantiques. Quantum BC y joue un rôle clé en réunissant les parties prenantes provinciales.• Une entreprise locale de la Colombie-Britannique, D-Wave, a été l’un des premiers leaders mondiaux dans le domaine de l’informatique quantique et a récemment fait d’importants progrès en matière d’investissement et de commercialisation de ses technologies.

Source : Tableau préparé par la Bibliothèque du Parlement à partir d’informations tirées de : INDU, [*Témoignages*](#), 25 mars 2022, 1305 (Vats).

Stratégie quantique nationale

M. Vats a affirmé que c’est dans ce contexte que dans son Budget 2021, le Gouvernement du Canada a proposé 360 millions de dollars sur sept ans à compter de 2021–2022 afin de lancer une stratégie quantique nationale (SQN). Selon le gouvernement du Canada, cette stratégie permettra notamment d’amplifier « les forces importantes du Canada dans la recherche quantique et [d’élargir] nos technologies, nos entreprises et nos talents prêts à évoluer dans l’univers quantique, en plus de renforcer

le leadership mondial du Canada dans ce domaine »³¹. Entre juillet et octobre 2021, Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) a organisé des tables rondes virtuelles et a lancé une enquête en ligne afin de récolter les points de vue de différentes parties prenantes sur divers aspects de la stratégie quantique nationale comme la recherche, la commercialisation, la sécurité et le contexte international³². Le rapport à la suite de ces rencontres souligne notamment que pour que le Canada demeure un chef de file dans le domaine, il doit y avoir une collaboration entre les milieux universitaires, l'industrie et le gouvernement, autant du point de vue national, qu'international³³.

En réponse à des questions, M. Vats a offert divers commentaires sur la SQN. Il a notamment expliqué que pour déterminer le cadre de la SQN, le gouvernement fédéral a établi de longues consultations avec les parties prenantes. Il a aussi discuté avec les gouvernements provinciaux pour s'assurer que la SQN complémente ce qu'ils font déjà³⁴. M. Vats a ajouté qu'il n'y avait pas de date officielle pour l'annonce du document stratégique final présentant la SQN, mais que le financement dans le cadre de la stratégie avait déjà commencé à être octroyé. Il a aussi souligné qu'il croyait que les parties prenantes impliquées considéreraient probablement les 360 millions de dollars annoncés insuffisants pour les besoins de l'industrie. Toutefois, il a expliqué que ce financement s'ajoutait aux centaines de millions déjà investis et investis à l'heure actuelle à travers d'autres programmes. Il a ajouté que le gouvernement canadien cherchait à cibler son financement sur des éléments lui permettant d'être plus concurrentiel à l'international. Il a affirmé qu'un financement ciblé pour accélérer le développement était important, car il y a un énorme fossé entre fabriquer un ordinateur quantique en petit format en laboratoire puis construire un format pouvant être commercialisé³⁵.

Les témoins s'entendaient sur l'importance pour le Gouvernement du Canada de faire des choix stratégiques dans la mise en place de la SQN. Des témoins ont expliqué que le Canada n'avait pas encore fait des choix stratégiques à travers la SQN, ce qui permettait aux chercheurs d'explorer diverses approches et technologies pour développer l'ordinateur quantique³⁶. Certains ont toutefois nuancé que la SQN ne peut pas

31 [Budget 2021](#). INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1305 (Vats).

32 Gouvernement du Canada, [Stratégie quantique nationale](#).

33 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1305 (Vats).

34 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1320 (Vats).

35 *Ibid.*, 1325.

36 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1425 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1620 (Brassard).



saupoudrer partout les dollars à long terme. Le Gouvernement du Canada devrait faire des choix difficiles, mais nécessaires pour maximiser les ressources³⁷. M. Lütkenhaus a ajouté que l'approche de la SQN devrait tendre vers des choix stratégiques pour rallier les chercheurs dans un but commun. Si ces buts communs attirent assez d'intérêt auprès de chercheurs canadiens, il y a possibilité que la recherche effectuée au Canada ait un grand impact à l'international³⁸.

Les témoins étaient incertains quant au meilleur moment pour investir dans une ou plusieurs technologies en particulier. Selon M. Vats, il était trop tôt dans la « course » à l'ordinateur quantique pour fermer des portes et choisir des gagnants. Selon lui, éventuellement une ou deux technologies gagnantes pourraient émerger³⁹. Des témoins étaient en accord et ont affirmé qu'il était difficile de prédire quand les technologies seront assez mures pour que le gouvernement fédéral prenne des décisions. Ils espéraient qu'à la fin du financement annoncé sur sept ans dans le cadre de la SQN, le gouvernement pourrait prendre une décision⁴⁰. De son côté, Mme Simmons a affirmé que le design dominant pour l'ordinateur quantique sera sûrement apparent dans quelques années⁴¹. Elle a ajouté que choisir des approches avant que le design gagnant émerge comporte des risques, mais attendre d'investir dans une ou plusieurs approches gagnantes implique un risque encore plus grand⁴².

Ultimement, il est possible que plus d'une technologie soit utilisée pour développer et travailler avec l'ordinateur quantique. M. Janik ne croyait pas qu'une seule technologie l'emporterait⁴³. Selon IBM Canada, c'est une combinaison de l'informatique classique et quantique qui alimentera les percés prévues⁴⁴. Selon Mme Schwartz, le gouvernement fédéral devrait soutenir les technologies quantiques hybrides, car, lorsque développés, les ordinateurs quantiques ne remplaceront pas les ordinateurs classiques, mais vont plutôt être utilisés conjointement, selon la tâche à accomplir⁴⁵. Elle a ajouté que le nuage quantique sera aussi utile à long terme, car selon elle, il permettra de découvrir

37 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1500 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1540 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310 (Edward McCauley, À titre personnel).

38 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1425 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1425 (Lütkenhaus).

39 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1350 (Vats).

40 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1655 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1655 (Yazdi).

41 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons).

42 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons).

43 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1555 (Janik).

44 IBM Canada, [Mémoire](#).

45 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Schwartz) , D-Wave, [Mémoire](#).

les applications possibles des technologies quantiques dans un format hybride. Les petites entreprises en démarrage pourront aussi mettre au point leur système à travers le nuage⁴⁶. Elle a ajouté que la création d'un centre informatique national contribuerait au développement des technologies :

S'il existait un centre informatique national de haute performance intégré en quantique, il pourrait y avoir des systèmes quantiques, et de diverses tailles. Peut-être que certains des plus petits serviraient uniquement à des fins de recherche, tandis que d'autres de taille commerciale se prêteraient à la navigation. Du point de vue du gouvernement, cela ne m'apparaît pas comme une question de choix, mais plutôt d'ajouts⁴⁷.

Pour aider le Gouvernement du Canada dans la prise de décisions stratégiques, M. Blais a proposé de s'inspirer d'une initiative qui existe aux États-Unis. Il a expliqué que deux agences de financement de la recherche envoient des défis à la communauté. Ces défis sont lancés par certains acteurs de la communauté auxquels la communauté peut répondre. Ces défis doivent impliquer plusieurs équipes de recherche partout au pays, et peuvent impliquer des groupes étrangers. Le groupe de l'Université de Sherbrooke reçoit du financement pour sa participation à ces défis. C'est ensuite la communauté qui fait les choix stratégiques en proposant les avenues qu'elle juge plus prometteuses. Puis, en collaboration avec les agences de financement, les choix sont faits et le financement est accordé⁴⁸.

Enfin, pour mettre en place des choix stratégiques à travers la SQN, des témoins ont aussi proposé de miser sur les forces du pays. Olivier Gagnon-Gordillo, Québec Quantique, a proposé d'investir dans les secteurs industriels forts au pays selon les forces de chaque province. Le gouvernement pourrait ensuite se concentrer sur un ou deux secteurs par province et trouver les premiers utilisateurs qui pourraient devenir des chefs de file pour l'adoption de la quantique au pays. Selon lui, cela permettrait aussi de faire le pont entre la recherche fondamentale et la mise en place d'applications dans les industries⁴⁹. D'autres témoins ont affirmé que le Canada devrait miser sur ses forces actuelles et priorités en coordination avec l'industrie quantique, comme la sécurité

46 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1500 (Schwartz).

47 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1500 (Schwartz).

48 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1425 (Blais).

49 INDU, *Témoignages*, 5 avril 2022, 1730 (Olivier Gagnon-Gordillo, Québec Quantique).



nationale et la cybersécurité⁵⁰. M. Fursman a ajouté qu'il faut mettre en place des investissements à long terme et établir ce qu'on définit comme succès⁵¹.

Financement

« Pour entraîner des répercussions sur la scène mondiale, le Canada a besoin d'une [stratégie quantique nationale] ambitieuse et agile[...] »

Les témoins croyaient que le financement de 360 millions de dollars annoncé pour la SQN ne serait pas suffisant pour soutenir l'industrie quantique au pays. Ils ont souligné que ce financement était un effort louable, mais modeste comparé à d'autres pays⁵². L'industrie quantique canadienne a besoin de plus de fonds pour préserver sa position de chef de file mondial⁵³. Elle a besoin de financement direct et

prévisible pour développer la technologie⁵⁴. Elle a aussi besoin de soutien à plus long terme, car l'amorçage d'une entreprise en technologies quantiques prend environ 15 ans⁵⁵. M. Fursman a ajouté qu'il peut être difficile d'avoir la volonté politique de soutenir l'industrie puisqu'elle n'est pas encore concurrentielle contre les ordinateurs classiques, mais « le fait qu'elle soit naissante est justement l'un des arguments économiques les plus solides pour solliciter un investissement gouvernemental »⁵⁶.

Plusieurs pays investissent désormais considérablement pour développer leur expertise dans le domaine quantique⁵⁷. Anne Broadbent, professeure et titulaire de la Chaire de recherche de l'Université en traitement de l'information et cryptographie quantiques, a

50 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1505 (Lütkenhaus), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310 (McCauley).

51 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1440 (Fursman).

52 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310 (McCauley), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1730 (Brassard), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1730 (Marie-Pierre Ippersiel, PRIMA Québec).

53 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1550 (Philippe St-Jean, Nord Quantique), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1355 (McCauley), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (Yazdi).

54 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Fursman).

55 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1715 (Gagnon-Gordillo).

56 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1315 (Fursman).

57 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310 (McCauley).

affirmé que plusieurs pays, notamment l'Allemagne, les États-Unis, la France, la République populaire de Chine (RPC) et le Royaume-Uni ont des stratégies agressives pour développer les technologies quantiques⁵⁸. Des témoins ont affirmé qu'on observe actuellement une course mondiale pour le développement des technologies quantiques et puisque la technologie se développe à plus long terme, cette course est un marathon plutôt qu'un sprint⁵⁹. M. Gagnon-Gordillo a affirmé que le Canada « se classe souvent parmi les cinq meilleurs pays dans le domaine de l'informatique quantique », une position fragile selon lui, démontrant l'importance de faire des investissements stratégiques⁶⁰. Pour entraîner des répercussions sur la scène mondiale, le Canada a besoin d'une SQN ambitieuse et agile, lui permettant de faire des choix stratégiques, puisqu'il ne peut exceller dans tous les domaines⁶¹.

D'autres témoins considéraient que le Canada pouvait être bien positionné dans cette course. Philippe St-Jean, Nord Quantique, a affirmé que la collaboration entre les chercheurs dans le secteur quantique au pays a permis au Canada de rester concurrentiel jusqu'à maintenant, malgré les sommes considérables investies par ses concurrents internationaux dans leurs secteurs quantiques. Il croyait d'ailleurs que les premiers ordinateurs quantiques naîtront au Canada ou aux États-Unis, mais a tout de même ajouté que le Canada doit agir maintenant s'il veut avoir une chance de réussir⁶². IBM Canada a ajouté que

pour acquérir un véritable avantage concurrentiel dans la course au développement de technologies quantiques, le Canada dispose de plusieurs atouts enviables : une main-d'œuvre hautement qualifiée et diversifiée, une communauté de chercheurs renommée et dynamique, une approche centrée sur l'innovation et une véritable volonté d'aller de l'avant. Ces ingrédients ne demandent qu'à être complétés par des flux de financement audacieux et ambitieux, afin de soutenir les investissements réalisés par les provinces, la recherche et les intérêts privés⁶³.

La SQN devrait offrir du financement à toutes les étapes du développement des technologies, de la recherche fondamentale à la commercialisation. Toutes les étapes ont

58 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent).

59 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Fursman), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

60 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

61 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

62 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1550 (St-Jean).

63 IBM Canada, [Mémoire](#).



besoin de financement⁶⁴. Par exemple, du financement est nécessaire pour soutenir la recherche fondamentale et bâtir les infrastructures de recherche qui sont très coûteuses⁶⁵. Selon Mme Simmons, actuellement, puisque les professeurs canadiens ne reçoivent pas assez de financement pour leurs travaux, ils doivent chercher du soutien à l'externe auprès d'organisations nationales et internationales⁶⁶. Du financement est aussi nécessaire pour traduire cette recherche en succès commercial⁶⁷. M. Gagnon-Gordillo a noté que les entreprises en démarrage ont souvent assez de financement pour commencer leurs travaux, mais manquent souvent de soutien pour augmenter leurs opérations et doivent donc chercher des investisseurs étrangers⁶⁸. Selon Kimberly Hall, professeure de physique, dans le domaine quantique, la recherche fondamentale et l'innovation commerciale sont beaucoup plus liées que dans d'autres domaines, puisque les entreprises se forment autour de concepts prometteurs en développement⁶⁹. M. St-Jean a ajouté qu'ultimement, la question est de savoir si le Canada peut financer « l'intégralité du projet »⁷⁰.

Pour illustrer les besoins de financement pour développer l'ordinateur quantique et son industrie, les témoins ont présenté divers exemples. M. Laflamme a affirmé que fabriquer un centre de recherche en quantique coûte entre 50 et 100 millions de dollars et a estimé que construire une usine de fabrication à la commercialisation de l'ordinateur quantique coûtera des centaines de millions de dollars, peut-être même jusqu'à un milliard de dollars⁷¹. M. Janik abondait dans le même sens⁷². Il a ajouté que Xanadu a réussi à obtenir 175 millions de dollars pour construire un ordinateur quantique universel tolérant aux pannes, ce qui ne représente qu'environ 20 % du financement qui sera nécessaire pour créer cet ordinateur⁷³.

64 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1640 (St-Jean), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1730 (Ippersiel).

65 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1410, 1425 (Lütkenhaus), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1620 (Brassard).

66 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1425 (Simmons).

67 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1550 (St-Jean), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (Janik), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1620 (Laflamme).

68 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1715, 1730 (Gagnon-Gordillo).

69 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Kimberly Hall, À titre personnel).

70 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (St-Jean).

71 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1610 (Laflamme).

72 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1700 (Janik).

73 *Ibid.*, 1625.

« [L]a question est de savoir
si le Canada peut financer
"l'intégralité du projet". »

En tant que bras financier du
gouvernement, la Banque de
développement du Canada pourrait
jouer un rôle important auprès des
entreprises des matériaux avancés et
des technologies quantiques. En capital

de risque, il agit soit par l'entremise de ses fonds propres ou en tant que mandataire du
gouvernement pour investir dans les différents fonds mis en place. Il agit également en
investissant directement dans les entreprises.

RISQUES ÉMERGENTS EN MATIÈRE DE CYBERSÉCURITÉ

Lorsque développée à terme, l'informatique quantique pourrait être capable de briser la
cryptographie actuelle. Gilles Brassard, professeur titulaire a affirmé : « l'informatique
quantique constitue une menace gravissime à la sécurité »⁷⁴. Il y a urgence que tous se
préoccupent des risques posés par l'informatique quantique, puisqu'il pourra briser tous
les systèmes de chiffrement de la cryptographie actuelle⁷⁵. Ils ont expliqué qu'il pourra
briser le système de chiffrement moderne d'algorithme de cryptographie asymétrique
(RSA), système utiliser presque partout, notamment pour les communications en ligne,
les plateformes de médias sociaux, les banques, les infrastructures essentielles comme
les réseaux électriques et les installations nucléaires, et les communications
gouvernementales et militaires. Toutes les entreprises avec une présence en ligne seront
affectées⁷⁶. Tous les systèmes de chiffrement actuels devront donc être remplacés⁷⁷. Ce
risque posé par l'informatique quantique est asymétrique, car dès qu'un seul ordinateur
quantique sera capable de briser le système RSA, tous les chiffrements deviendront
obsolètes⁷⁸. Des témoins pensaient que cela pourrait se produire dans environ 10
à 20 ans⁷⁹.

74 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard).

75 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1630 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons),
INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Shohini Ghose, À
titre personnel).

76 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1315, 1450
(Simmons).

77 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons).

78 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325, 1405 (Simmons).

79 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1630, 1645 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1650
(Yazdi), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1610 (Brassard), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325
(Simmons).



« L'informatique quantique constitue une menace gravissime à la sécurité. »

Mme Simmons pensait quant à elle qu'un ordinateur quantique capable de briser les systèmes de chiffrement actuels pourrait être disponible bien avant 10 ans⁸⁰. Elle a expliqué que l'histoire de la fission nucléaire étaye bien son point :

En 1933, le plus éminent physicien nucléaire au monde, Rutherford, a tourné en ridicule la possibilité de tirer un jour de l'énergie des transmutations nucléaires. C'était l'idée dominante dans le milieu scientifique de l'époque; ce n'était peut-être pas impossible, mais cela n'arriverait pas avant 20 ou 30 ans. Cependant, il s'est écoulé à peine sept ans entre la démonstration de la fission nucléaire quelques années plus tard, en 1938, et la première explosion nucléaire. Cela démontre la force d'un modèle dominant et d'une mobilisation massive pour le mettre au point et le concrétiser. À Photonic, nous croyons que les technologies quantiques deviendront réalité beaucoup plus vite qu'on le pense⁸¹.

Le développement d'un ordinateur quantique pourrait donc apporter des risques importants au niveau de la sécurité nationale. Selon M. Laflamme, la relation entre l'informatique quantique et la sécurité nationale est évidente⁸². Mme Simmons a affirmé : « En gros, si nous ne défendons pas efficacement notre infrastructure de cybersécurité dès maintenant, l'avènement d'un ordinateur quantique pourrait être vu comme l'équivalent de la bombe nucléaire sur le plan de la sécurité de l'information »⁸³. M. Yazdi croyait que le plus tôt le Canada pourra améliorer la sécurité de ses systèmes de chiffrement, le mieux ce sera pour la sécurité du pays⁸⁴.

À court terme

Des témoins ont expliqué que des entités pourraient actuellement emmagasiner des informations dans le but de pouvoir les décrypter lorsque l'ordinateur quantique sera disponible. L'ordinateur quantique pourrait offrir un accès incroyable à toutes les

80 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1340 (Simmons).

81 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

82 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1645 (Laflamme).

83 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1325 (Simmons).

84 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1650 (Yazdi).

communications modernes emmagasinées⁸⁵. Ceci pose des risques importants si d'autres pays emmagasinent l'information pour pouvoir la décrypter plus tard⁸⁶.

« Si nous ne défendons pas efficacement notre infrastructure de cybersécurité dès maintenant, l'avènement d'un ordinateur quantique pourrait être vu comme l'équivalent de la bombe nucléaire sur le plan de la sécurité de l'information. »

Les témoins ont discuté de l'importance de développer et mettre en place de nouveaux systèmes de chiffrement pour protéger les systèmes de la puissance de l'informatique quantique. Selon plusieurs témoins, le Gouvernement du Canada et toutes les organisations qui ont une présence en ligne devraient arrêter d'utiliser les anciens chiffrements et devraient penser à en instaurer de nouveaux dès maintenant⁸⁷. Il y a urgence d'agir, car les nouveaux systèmes de chiffrement doivent être mis en place

avant l'arrivée de l'ordinateur quantique et il faudra sûrement plusieurs années pour mettre en place les systèmes adéquats pour protéger tous les chiffrements actuels, particulièrement dans le secteur financier⁸⁸. Mme Simmons a affirmé qu'il faut particulièrement protéger les systèmes de chiffrement des infrastructures critiques comme les centrales électriques ou nucléaires⁸⁹. M. Brassard a aussi souligné l'importance de sensibiliser les individus aux risques à venir⁹⁰. Mme Simmons a ajouté que le gouvernement canadien devrait trouver une façon réglementaire d'encourager les entreprises à investir dans de nouveaux systèmes de chiffrement⁹¹.

Des chercheurs ont déjà entamé des travaux pour trouver des systèmes de chiffrement résistants à l'informatique quantique. Mme Simmons a affirmé que les chercheurs travaillent depuis des décennies pour trouver des systèmes de chiffrement post-

85 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard).

86 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1610 (Brassard).

87 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1630 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1650 (Yazdi).

88 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1335, 1410 (Simmons).

89 *Ibid.*, 1340, 1450.

90 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1610 (Brassard).

91 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1340 (Simmons).



quantiques⁹². M. Blais a ajouté que le Conseil national de recherches Canada (CNRC) pourrait participer à ces travaux⁹³. Le Service canadien du renseignement de sécurité (SCRS), le Centre de la sécurité des télécommunications (CST) et le National Institute of Standards and Technology (NIST) ont déjà entamé des travaux pour développer de nouveaux chiffrements. Le NIST devrait les annoncer à court terme⁹⁴. M. Laflamme a expliqué qu'habituellement, les systèmes canadiens se basent sur les normes du NIST. Les organisations canadiennes attendent donc probablement cette annonce pour mettre en place de nouveaux chiffrements selon lui⁹⁵. M. Brassard a affirmé que la situation était urgente même si le NIST n'avait pas encore rendu sa décision⁹⁶. Beaucoup de travail doit être mobilisé pour découvrir des systèmes de chiffrements résistants à l'ordinateur quantique, car le coût de ne pas réussir est trop élevé⁹⁷.

Selon des experts, il est incertain si les nouveaux systèmes de chiffrements résisteront à l'ordinateur quantique. En effet, il n'y a aucune garantie que les nouveaux chiffrements développés par les chercheurs ou par le NIST seront infaillibles à l'informatique quantique⁹⁸. Considérant l'incertitude entourant la mise en place de systèmes de chiffrement résistants à l'informatique quantique, des témoins ont proposé que le Canada se dote de couches de protection multiples. Mme Simmons a expliqué qu'

[e]n plus du RSA, nous pouvons ajouter une couche de protection à tous les systèmes de chiffrement post-quantiques qui sont normalisés dans les logiciels; les organisations adverses devront les briser pour pouvoir accéder au contenu. Cela nous fera gagner du temps. Quant aux infrastructures essentielles, je suggère que nous ajoutions des mesures de défense sûres durant la période de transition vers le chiffrement, par souci d'assurance⁹⁹.

Ceci permettrait de protéger dès maintenant les données pour qu'elles ne puissent pas être emmagasinées par d'autres pays en attente d'être décryptées par l'ordinateur quantique¹⁰⁰. Mme Simmons a ajouté qu'une organisation n'a pas besoin d'avoir une expertise en quantique pour commencer à mettre en place les couches de protection

92 *Ibid.*, 1325.

93 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1500 (Blais).

94 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1630 (Laflamme).

95 *Ibid.*, 1725.

96 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1655 (Brassard).

97 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons).

98 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1655 (Brassard).

99 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons), aussi INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1655 (Brassard).

100 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1450 (Simmons), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530, 1655 (Brassard).

multiples nécessaires et trouver les endroits où les systèmes de chiffrement ont des faiblesses¹⁰¹. Considérant l'importance de la situation, les témoins ont affirmé que le Canada devrait prendre une décision de toute urgence quant à l'approche à adopter pour protéger ses systèmes¹⁰².

Du côté gouvernemental, M. Vats a affirmé que

dans le domaine de la cybersécurité — et la quantique en fait partie —, on a lancé l'an dernier un réseau d'innovation en cybersécurité qui vise essentiellement à financer la collaboration entre les universités et l'industrie pour offrir des programmes de formation partout au pays. Les collègues y participent dans une certaine mesure, je crois. Ce programme vise à ce que la recherche menée dans les universités et la formation qui y est offerte répondent aux besoins de l'industrie canadienne en matière de cybersécurité.

Bien qu'étant axé sur la cybersécurité, ce réseau complète ce que nous faisons ici dans le cadre de la Stratégie. La cybersécurité et l'informatique quantique sont très étroitement liées. Ce sont des éléments cruciaux de ce domaine¹⁰³.

À plus long terme

La cryptographie quantique pourrait permettre de protéger les systèmes de chiffrement des menaces de l'ordinateur quantique. Par exemple, la distribution de clé quantique (DQC) est l'une des techniques de communication quantique la plus développée pour sécuriser les communications. Avec cette technique, les parties utilisent des systèmes quantiques pour produire des clés de chiffrement privées pour assurer la confidentialité des renseignements échangés entre les deux parties¹⁰⁴. Elle nécessite toutefois une infrastructure plus grande, notamment des satellites au Canada, considérant sa géographie, et beaucoup d'investissements pour être complètement développée. Elle ne peut donc pas être déployée dès maintenant pour commencer à sécuriser rapidement les communications¹⁰⁵. La mission QEYSSat de l'Agence spatiale canadienne travaille d'ailleurs pour démontrer l'utilisation de la DQC dans l'espace¹⁰⁶. Les différents systèmes

101 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1340 (Simmons).

102 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1325 (Simmons), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1635, 1655 (Brassard).

103 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1400 (Vats).

104 Gouvernement du Canada, [Quantum Encryption and Science Satellite \(QEYSSat\)](#).

105 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1455 (Simmons).

106 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1410 (Lütkenhaus).



de cryptographie quantique pourront aussi être utilisés conjointement avec la cryptographie conventionnelle pour sécuriser les systèmes¹⁰⁷.

L'Internet quantique est aussi en plein développement. M. Brassard a expliqué que l'« Internet quantique permettrait de relier tous les pays, et même toute la Terre, par un réseau quantique sur le mode actuel d'Internet. Si l'on veut pouvoir faire cela, il faudra beaucoup de ressources. »¹⁰⁸ Edward McCauley, président et vice-chancelier, a expliqué que le Canada bâtit actuellement la prochaine génération de l'Internet quantique et qu'il peut jouer un rôle très important dans le développement de cette technologie¹⁰⁹. M. Brassard a ajouté que « le Canada devrait reprendre la tête dans ce domaine afin de sécuriser les communications, car notre société en a besoin »¹¹⁰. Mme Simmons a noté que les satellites actuellement développés pour la DQC seront aussi utiles pour bâtir l'Internet quantique¹¹¹. Elle a souligné que le Gouvernement du Canada pourrait assumer un rôle de leadership pour développer cette infrastructure¹¹². La RPC a déjà développé un réseau de cryptographie quantique pour sécuriser les communications entre Beijing et Shanghai¹¹³.

Contexte international

En réponse à des questions sur le sujet, des témoins ont commenté le niveau de développement d'un ordinateur quantique en Corée du Nord, en Russie et en RPC. M. Laflamme a affirmé que c'était difficile savoir ce que d'autres pays faisaient à ce niveau. Selon lui, en se fiant à la recherche universitaire, il serait étonnant que la Corée du Nord mette au point ordinateur quantique sous peu, car elle ne semble pas posséder l'expertise ou la technologie adéquate. Il a ajouté que la Russie a une solide expertise dans le domaine, mais a commencé ses travaux plus tard que le Canada et ses partenaires. Selon lui, le plus grand concurrent du Canada est la RPC¹¹⁴. Alireza Yazdi, Anyon Systems Inc., a ajouté que la RPC n'avait pas d'ordinateur quantique il y a cinq ou six ans, mais avait maintenant une puce pour un ordinateur quantique de plus grande

107 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1625 (Brassard).

108 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1620 (Brassard).

109 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310, 1430 (McCauley).

110 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard).

111 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

112 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1425 (Simmons).

113 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard).

114 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1650 (Laflamme).

taille que celle de Google (65 qubits)¹¹⁵. Mme Simmons a toutefois souligné qu'on ne pouvait savoir ce qui se passait réellement dans les laboratoires clandestins d'autres pays¹¹⁶.

Les témoins ont commenté la gestion des risques de l'ordinateur quantique par le ministère de la Défense nationale au Canada. M. Vats a affirmé que

les programmes que nous [gouvernement du Canada] avons lancés dans le cadre de la Stratégie quantique nationale nous permettent de collaborer avec le ministère de la Défense afin de tirer parti de ses travaux et de les relier plus solidement aux activités de la recherche universitaire et de l'industrie. Nous tenons à ce que le développement des technologies quantiques que le ministère canadien de la Défense mettra au point par nécessité soit bien relié au milieu de la recherche et à l'industrie afin de commercialiser ces technologies¹¹⁷.

M. Yazdi a affirmé qu'Anyon Systems a livré un ordinateur quantique au ministère de la Défense nationale en 2021, mais ne pouvait fournir plus de détails¹¹⁸. Il a ajouté que bien que l'ordinateur quantique ne soit pas capable de déchiffrer les systèmes pour encore plusieurs années, il peut avoir d'autres utilités pour ce ministère¹¹⁹. Selon M. Brassard, ce ministère devrait utiliser la cryptographie quantique pour protéger ses systèmes¹²⁰.

Les témoins ont discuté de l'importance de la collaboration internationale pour répondre aux risques posés par l'informatique quantique. M. Brassard a noté que les États-Unis travaillaient déjà pour développer la cryptographie quantique, tout comme l'Europe et le Japon. Selon lui, le Canada n'a qu'à choisir le pays ou la région avec lequel il préfère collaborer¹²¹. La professeure Shohini Ghose a affirmé que la course pour protéger les données en ligne, passées et futures, n'est pas une course entre pays, car soit tous les pays perdent ou tous les pays gagnent, puisque beaucoup d'organisations ont des activités tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de leurs frontières. Par exemple, les banques canadiennes effectuent des transactions à l'extérieur du pays. Elle a souligné

115 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1655 (Yazdi).

116 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1335 (Simmons).

117 NDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1330 (Vats).

118 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1545 (Yazdi).

119 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1650 (Yazdi).

120 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1655 (Brassard).

121 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1720 (Brassard).



qu'un système de sécurité est aussi fort que son maillon le plus faible¹²². M. Vats a noté qu'actuellement, il y a une collaboration entre chercheurs pour les questions de sécurité, mais il n'y a pas de collaboration coordonnée entre les stratégies de divers pays¹²³.

Les témoins ont aussi discuté de l'importance de la gestion de la propriété intellectuelle (PI). M. Vats a expliqué que les universités et les entreprises ont différents modèles pour gérer la PI¹²⁴. Il a ajouté que l'objectif du gouvernement canadien est de respecter les choix des entreprises tout en tentant de garder la PI au pays, surtout dans les domaines où le gouvernement fédéral investit¹²⁵. Marie-Pierre Ippersiel, PRIMA Québec, était en accord sur l'importance de s'assurer que la PI développée ici est brevetée au pays et y demeure¹²⁶.

Les témoins ont souligné qu'il était particulièrement important de protéger la PI développée au pays, puisqu'il y a des risques d'espionnage industriel. MM. Janik et Laflamme ont expliqué que la commercialisation des technologies compliquait la situation, car de nombreuses parties prenantes veulent savoir ce qui se fait au Canada¹²⁷. Mme Simmons a expliqué qu'il était facile pour les chercheurs d'obtenir des contrats de financement à l'international plus importants que ceux offerts au pays. Or, ces contrats permettent d'acheter la PI qui en résulte et exigent souvent la confidentialité avant d'octroyer le financement. Selon elle, pour contrer cette pratique et l'espionnage industriel, les universités devraient être obligées de divulguer publiquement leurs contrats de recherches internationaux portant sur des questions de sécurité nationale¹²⁸. Elle a ajouté qu'il y avait un besoin d'un soutien plus solide du CST et du SCRS pour toutes les entreprises de technologie quantique pour contrer l'espionnage industriel et renforcer les infrastructures de cybersécurité¹²⁹.

Enfin, des témoins ont souligné que l'ordinateur quantique amènera beaucoup plus d'éléments positifs à long terme que d'éléments négatifs, mais pour en bénéficier, le Canada, tout comme ses alliés, doit se préparer à faire face aux risques qu'il pose¹³⁰.

122 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1625 (Ghose).

123 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1305 (Vats).

124 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1355 (Vats).

125 *Ibid.*

126 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1730 (Ippersiel).

127 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1615 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (Janik).

128 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

129 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

130 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1610 (Brassard).

Mme Simmons a d'ailleurs affirmé : « Il y aura tellement de bonnes choses qui découleront de cette technologie, mais je ne veux pas que la première impression du public à l'égard des ordinateurs quantiques soit: Mon Dieu, ils ont supplanté Internet. »¹³¹

NOMBREUSES POSSIBILITÉS

Détecteurs quantiques

Une des utilités offertes à court terme des technologies quantiques sera les détecteurs quantiques. Les témoins ont expliqué que cette technologie est actuellement à un stade de développement plus avancé que les ordinateurs quantiques. Elle sera très utile puisqu'on retrouve des détecteurs partout¹³². Les détecteurs quantiques permettront de mesurer les propriétés de leur environnement plus rapidement et efficacement que les détecteurs actuels¹³³. Mme Hall a ajouté que discuter davantage des détecteurs quantiques piquerait sans doute la curiosité des gens et augmenterait leur intérêt à en savoir davantage sur la quantique¹³⁴.

Les détecteurs seront utiles dans de nombreuses industries. Par exemple, ils seront notamment utiles pour offrir de meilleures données dans le domaine de l'imagerie médicale avec des structures beaucoup plus petites que les machines actuelles. Des compagnies y travaillent déjà¹³⁵. Ils pourront aussi être utiles dans le secteur minier. SB Quantum, une entreprise basée à Sherbrooke, développe actuellement des détecteurs quantiques pour l'industrie minière. Ces détecteurs pourront être placés sur des drones pour détecter la variation du champ magnétique qui indiquerait la présence de gisements¹³⁶.

Développement des capacités de fabrication

Construire les ordinateurs quantiques nécessite de nombreux matériaux avancés. Par exemple, les ordinateurs quantiques n'utiliseront pas nécessairement les mêmes semi-conducteurs que ceux utilisés pour fabriquer les ordinateurs classiques¹³⁷.

131 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1425 (Simmons).

132 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1430 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1410 (Lütkenhaus).

133 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1430 (Blais).

134 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1710 (Hall).

135 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1430 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Hall).

136 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1430 (Blais).

137 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1435 (Lütkenhaus).



M. St-Jean a souligné que considérant l'infrastructure nécessaire, il était très complexe pour une entreprise de développer un ordinateur quantique et cela devait se faire dans des espaces spécialisés¹³⁸.

Les témoins ont déploré le manque de capacité de fabrication des matériaux avancés au pays et ont discuté des répercussions de ce manque de matériaux pour leur compagnie. Mme Schwartz a déploré qu'il n'y ait pas de chaîne d'approvisionnement nationale au pays pour certains matériaux. Elle a noté que le Canada n'a pas d'usine de taille commerciale au pays pour produire les puces supraconductrices utilisées par D-Wave. Il doit donc utiliser une usine américaine¹³⁹. M. Blais a affirmé que puisque les matériaux rares sont difficiles à trouver, il cherche une autre approche pour ne pas avoir à les utiliser dans le développement des technologies quantiques¹⁴⁰. M. Yazdi a affirmé qu'en ce qui « qui concerne la chaîne d'approvisionnement, [c'est] ce qui me tient éveillé la nuit, littéralement. À l'heure actuelle, [nos] puces sont en rupture de stock depuis 52 semaines. La situation est donc très sérieuse. »¹⁴¹ Il a ajouté qu'Anyon Systems a commencé à construire toutes les parties principales d'un ordinateur quantique superconducteur en 2016 à cause des problèmes de la chaîne d'approvisionnement¹⁴². Il a expliqué que cela lui a permis d'être en grande partie indépendant des fournisseurs étrangers et d'offrir des capacités nationales¹⁴³.

« Le Canada doit s'occuper de la chaîne d'approvisionnement sérieusement, car la pandémie de COVID-19 a démontré qu'on ne peut même pas se fier aux pays alliés en matière d'approvisionnement. »

M. Yazdi et Mme Simmons ont aussi souligné qu'il y avait des enjeux géopolitiques associés au manque de capacité à produire certains matériaux avancés. M. Yazdi a affirmé que le manque de capacité de production de certains produits électroniques est une faiblesse du Canada et d'autres pays. Il a affirmé que

138 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1605 (St-Jean).

139 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1440 (Schwartz).

140 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1500 (Blais).

141 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1635 (Yazdi).

142 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1635 (Yazdi).

143 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1545 (Yazdi).

l'ensemble de la planète dépend de Taïwan, dans une large mesure, particulièrement de la fonderie TSMC. Selon moi, c'est un talon d'Achille géopolitique, car si la Chine décidait d'envahir Taïwan demain matin, cela pourrait entraîner l'effondrement de nombreux secteurs économiques dans le monde. C'est une situation que nous devrions vraiment examiner dans un contexte stratégique et économique plus vaste que celui du secteur quantique uniquement¹⁴⁴.

Ainsi, certaines parties prenantes pourraient utiliser cette vulnérabilité de la chaîne d'approvisionnement pour dominer et freiner les efforts du Canada dans le développement des technologies quantiques¹⁴⁵. Pour répondre à cet enjeu, il a proposé de s'inspirer des États-Unis et de choisir une priorité technologique et d'y investir afin de sécuriser la production au pays. Il a affirmé que le Canada doit s'occuper de la chaîne d'approvisionnement sérieusement, car la pandémie de COVID-19 a démontré qu'on ne peut même pas se fier aux pays alliés en matière d'approvisionnement¹⁴⁶.

Des témoins ont discuté de l'importance de développer la capacité de fabrication des matériaux avancés au pays. Geneviève Tanguay, CNRC, a expliqué que le CNRC a des installations pour fabriquer des semi-conducteurs et des artefacts quantiques comme des lasers à points quantiques, des capteurs et des répéteurs¹⁴⁷. Toutefois, elle a souligné que le CNRC aimerait obtenir des investissements étrangers pour appuyer ses efforts dans la production des semi-conducteurs composés¹⁴⁸. M. Yazdi croyait aussi que la capacité de fabrication du Canada à ce niveau devait être renforcé et a affirmé que toutes les entreprises au Canada devraient avoir accès à la capacité de fabrication, particulièrement celles voulant œuvrer en quantique. Selon lui, le Canada pourrait devenir un chef de file mondial dans ce domaine¹⁴⁹. IBM Canada a ajouté que développer une capacité de fabrication pour les matériaux avancés permettrait de sécuriser les matériaux importants de la chaîne d'approvisionnement et de renforcer la position de chef de file du Canada dans le domaine des technologies quantiques¹⁵⁰.

M. Yazdi a discuté des répercussions de la chute de Nortel au début des années 2000. Il a affirmé que la chute de Nortel a causé la perte du Canada de sa capacité de fabrication commerciale des semi-conducteurs. Il a ajouté que l'ancienne main d'œuvre de Nortel

144 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1635 (Yazdi).

145 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1635 (Yazdi), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

146 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1635 (Yazdi).

147 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1325 (Geneviève Tanguay, Conseil national de recherches Canada).

148 *Ibid.*, 1330.

149 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1610 (Yazdi).

150 IBM Canada, [Mémoire](#).



partira bientôt à la retraite, il aimerait donc tirer parti de son expertise, avant qu'elle quitte le marché du travail, pour construire une installation de nanofabrication industrielle mondiale pour les technologies quantiques et les semi-conducteurs. Il a ajouté qu'il aimerait obtenir du soutien gouvernemental pour réaliser ce projet¹⁵¹.

Les technologies quantiques pourront aussi être utiles pour découvrir et développer de nouveaux matériaux¹⁵². Mme Ippersiel a expliqué que

la recherche quantique est considérée comme étant une force habilitante et un moteur dans la découverte et la mise au point de nouveaux matériaux, de processus qui intègrent des matériaux, ou dans la conception d'équipement pour leur production ou leur caractérisation. En termes simples, la recherche quantique accélère les simulations et nous permettra de combiner toutes sortes de propriétés et de fonctionnalités que nous voulons obtenir, et ce, plus rapidement¹⁵³.

Ainsi, l'informatique quantique pourra accélérer considérablement le développement de nouveaux matériaux, ce qui sera un grand avantage selon Mme Ippersiel¹⁵⁴.

Retombées économiques

Plusieurs témoins étaient en accord que les technologies quantiques pourraient contribuer à la prospérité du Canada à court et long terme, si le Canada met les moyens adéquats en place pour y arriver¹⁵⁵. Par exemple, IBM Canada a affirmé que selon des données du CNRC, d'ici 2030, l'industrie de l'informatique quantique du Canada pourrait atteindre 8,2 milliards de dollars et pourrait employer 16 000 personnes¹⁵⁶. Le tableau 2 présente les données du CNRC plus en détail. Mme Broadbent a présenté des données de la firme de recherche Gartner présentant des conclusions similaires au CNRC¹⁵⁷.

151 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1610 (Yazdi).

152 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1500 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1600 (Ippersiel).

153 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1600 (Ippersiel).

154 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1615 (Ippersiel).

155 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310 (McCauley), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1315 (Fursman), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1530 (Brassard).

156 IBM Canada, [Mémoire](#).

157 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent).

Tableau 2 — Prévisions du Conseil national de recherches Canada des retombées économiques de l'industrie de la technologique quantique au Canada

Année	Revenus annuels (en milliards de dollars)	Emplois	Revenus imposables (en milliards de dollars)	Importance par rapport au Produit Intérieur Brut (%)
2030	8,2	16 000	3,5	0,2
2040	142,4	229 000	55,0	3,4

Source : Tableau préparé par la Bibliothèque du Parlement à partir des données tirées de Conseil national de recherches Canada, *Incidence économique des technologies quantiques* et IBM Canada, *Mémoire*.

Mme Simmons a toutefois prévenu que les retombées économiques des technologies quantiques ne seront pas réparties de manières égales à travers le monde. Elle a rappelé que le Canada est « le pays de l'Avro Arrow, du réacteur CANDU, de Nortel, de BlackBerry et de Bombardier. Nous sommes le pays où a été déposé le premier brevet de transistor, 20 ans avant la première démonstration des Laboratoires Bell. Et qu'est-il advenu tout cela¹⁵⁸? » Elle a expliqué que ces exemples devraient servir d'avertissement, car le Canada a inventé de nombreuses technologies quantiques : il devrait donc s'assurer de « briser cette tendance consistant à inventer, sans toutefois en récolter les bénéfices »¹⁵⁹. M. Laflamme était en accord avec Mme Simmons et a affirmé que « l'informatique et la technologie quantiques offrent une occasion incroyable au Canada, une occasion qu'il faut exploiter »¹⁶⁰.

BÂTIR DES ÉCOSYSTÈMES

Programmes

Les témoins gouvernementaux ont discuté des programmes déjà offerts par le Gouvernement du Canada pour soutenir l'industrie quantique. Mme Tanguay a expliqué que le CNRC offre des programmes à travers différents secteurs pour répondre aux priorités gouvernementales pour les sept prochaines années de la SQN¹⁶¹. Par exemple,

158 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

159 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

160 INDU, *Témoignages*, 25 mars 2022, 1540 (Laflamme).

161 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1310 (Tanguay).



il a lancé le nouveau Programme Défi « Informatique quantique appliquée » et le Programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques »¹⁶². M. Vats a ajouté que le gouvernement canadien offrait plusieurs programmes pouvant autant soutenir une entreprise à ses débuts comme le *Programme d'aide à la recherche industrielle* du CNRC ou pour soutenir une entreprise plus avancée dans son développement comme le *Fonds Stratégique pour l'innovation*. Selon M. Vats, le système canadien a déjà certains éléments pour soutenir l'industrie quantique au pays et la SQN va aider à lier ces divers éléments de façon efficace¹⁶³.

Les témoins ont offert divers commentaires sur les programmes qu'offre le gouvernement fédéral pour soutenir l'industrie quantique au pays. Mme Hall appréciait les défis du CNRC¹⁶⁴. Mme Simmons abondait dans le même sens mais croyait que le CNRC manquait grandement de financement¹⁶⁵. Des témoins ont affirmé que les contraintes liées aux programmes gouvernementaux existants créent parfois un délai trop grand entre le dépôt d'une demande de projet et son approbation. Les délais sont si grands qu'un projet peut avoir perdu sa pertinence avant de recevoir le financement demandé¹⁶⁶. Mme Hall a ajouté que les concours pour obtenir du financement devaient être plus ouverts¹⁶⁷. Par exemple, selon elle, les programmes devraient être ouverts pour les individus et des petits groupes, et non seulement pour des chercheurs affiliés aux grands centres d'expertise¹⁶⁸. Des témoins étaient reconnaissants que l'industrie quantique reçoive plus de financement ciblé grâce à la SQN¹⁶⁹. Mais selon M. Gagnon-Gordillo, le gouvernement fédéral devrait en faire davantage pour soutenir l'industrie¹⁷⁰.

Les témoins ont aussi offert des commentaires plus précis par rapport à certains programmes :

162 *Ibid.*, Voir aussi : Conseil national de recherches Canada, [Programme Défi « Informatique quantique appliquée »](#), Conseil national de recherches Canada, [Programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques »](#).

163 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1350 (Vats).

164 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Hall).

165 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1425 (Simmons).

166 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1550 (St-Jean), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1400 (Simmons).

167 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Hall).

168 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1725 (Hall).

169 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1425 (Barry C. Sanders, À titre personnel), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

170 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

- Selon M. Fursman et Mme Simmons, le Programme de la recherche scientifique et du développement expérimental est très utile pour soutenir une organisation à ses débuts. Il est très facile d'accès¹⁷¹. Mme Simmons a ajouté qu'elle aimerait que le programme ait un volet spécifiquement pour soutenir les technologies quantiques¹⁷²;
- Mme Simmons a proposé la mise en place d'un Fonds stratégique pour l'innovation spécifiquement pour l'industrie quantique. Ce fonds accepterait les propositions de toutes les entreprises quantiques, même celles qui ne génèrent pas encore de revenus¹⁷³;
- Les témoins appréciaient le Fonds pour les technologies profondes de la Banque de développement du Canada. Mais M. Yazdi a déploré que le budget soit alloué au préalable à l'investissement dans des entreprises de matériel quantique, fermant la porte à des entreprises en démarrage¹⁷⁴. M. St-Jean a aussi déploré que le financement de ce fonds soit offert sur une période de 10 ans alors que les technologies quantiques se développent à plus long terme¹⁷⁵.

Les témoins ont aussi proposé des façons pour le gouvernement fédéral de soutenir spécifiquement le développement d'ordinateurs quantiques. Par exemple, des témoins ont proposé que le Gouvernement du Canada soit le premier utilisateur des ordinateurs quantiques développés au pays ou serve d'intermédiaire pour trouver les utilisateurs. Ceci aiderait au développement de ces technologies¹⁷⁶. Mme Schwartz a expliqué que l'Australie et le Japon le font déjà¹⁷⁷. Si le gouvernement fédéral achète les ordinateurs quantiques, il pourrait aussi permettre aux étudiants de s'y entraîner¹⁷⁸. Ces contrats d'achats permettraient aux entreprises d'offrir un meilleur salaire à leurs étudiants et de développer davantage leur ordinateur quantique¹⁷⁹. Mme Simmons a ajouté que le

171 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1355 (Fursman), INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1400 (Simmons).

172 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1435 (Simmons).

173 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

174 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1625 (Yazdi).

175 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1640 (St-Jean).

176 INDU, *Témoignages*, 29 mars 2022, 1550 (St-Jean), INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1440 (Schwartz).

177 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1440 (Schwartz).

178 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1345 (Simmons), INDU, *Témoignages*, 5 avril 2022, 1635 (Gagnon-Gordillo), IBM Canada, *Mémoire*.

179 INDU, *Témoignages*, 1 avril 2022, 1345 (Simmons).



Canada devrait se doter d'une équipe quantique à temps plein pour acquérir les ordinateurs et les utiliser. Sinon, elle craignait que les entreprises canadiennes n'aillent s'installer dans d'autres pays qui s'approvisionnent auprès de fournisseurs nationaux, notamment la France, l'Allemagne, les États-Unis et le Royaume-Uni¹⁸⁰.

Des témoins ont aussi discuté de l'importance de bâtir l'expertise quantique au sein du gouvernement. Selon M. St-Jean, les programmes quantiques devraient être dirigés par une équipe de spécialistes du domaine qui ont déjà l'expertise et peuvent évaluer les dossiers et s'assurer que les montants vont au bon endroit¹⁸¹. Mme Simmons a affirmé qu'il devrait y avoir un groupe d'experts affectés seulement à ce dossier au sein du gouvernement pour préserver leur indépendance. L'Allemagne, l'Australie, les États-Unis, la France et le Royaume-Uni ont déjà ce genre d'équipe¹⁸². Ce groupe d'experts devrait aussi s'assurer que le gouvernement adopte une approche plus holistique dans ses programmes, de la science à la commercialisation¹⁸³. Mme Ghose a ajouté que ce comité devrait aussi comporter des experts des différentes industries qui seront touchées par les technologies quantiques avec des bagages et des expertises variées¹⁸⁴.

D-Wave a proposé la création de deux nouveaux programmes. Mme Schwartz a proposé que le Gouvernement fédéral crée un programme pour faciliter l'accès à l'informatique quantique en infonuagique. Elle a souligné que les États-Unis y travaillaient déjà afin d'élargir l'accès au matériel quantique¹⁸⁵. Elle a aussi proposé la mise en place d'un programme bac à sable¹⁸⁶. Dans son mémoire, D-Wave a expliqué qu'il y a un besoin d'éducation à grande échelle pour mettre en avant les capacités des systèmes quantiques actuels. La création d'un bac à sable quantique permettrait de développer rapidement des applications quantiques hybrides et de former du talent. Par exemple, le Gouvernement du Canada pourrait utiliser le bac à sable pour trouver des cas d'utilisation dans le secteur public, notamment pour la réduction des émissions CO2 et la gestion du transport. Plusieurs pays, dont l'Australie, les États-Unis et le Japon, ont déjà mis en place des programmes de ce genre. Selon D-Wave, la mise en place d'un tel

180 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

181 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1640 (St-Jean).

182 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1435 (Simmons).

183 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1600 (Laflamme).

184 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1630 (Ghose).

185 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Schwartz), D-Wave, [Mémoire](#).

186 Un programme bac à sable est un environnement de test isolé qui permet aux utilisateurs d'exécuter des applications pour tester leurs validations sans affecter le développement de la technologie.

programme permettrait de mettre en valeur l'innovation canadienne et d'accélérer l'adoption et la commercialisation¹⁸⁷.

Les témoins ont aussi discuté de programmes mis en place dans d'autres pays pour soutenir l'industrie quantique. M. Laflamme a expliqué qu'il y a un programme créé par la *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) aux États-Unis qui permet de lier les travaux des chercheurs et des entreprises, et a déploré que le Canada n'ait pas ce type de programme¹⁸⁸. M. Blais a souligné que ce serait bon pour le Canada d'avoir ce programme¹⁸⁹. M. Laflamme a noté qu'il semblait avoir une allusion à la mise en place d'un tel modèle dans la lettre de mandat du ministre de l'Innovation, sciences et développement économique¹⁹⁰. Il a ajouté que les chercheurs canadiens peuvent poser leur candidature à ce programme aux États-Unis et a donc proposé que le gouvernement fédéral fasse un pairage avec ce modèle. Ceci accélérerait le processus du côté du gouvernement canadien parce que les candidats auraient déjà reçu un appui sérieux de la part d'une agence (DARPA). Cela aiderait aussi l'entreprise, car le coût en ressources de soumettre plusieurs demandes de financement est élevé pour une petite entreprise¹⁹¹.

Gestion de talent

Les témoins ont discuté de l'importance de soutenir le développement du talent en quantique au pays. Plusieurs témoins ont souligné l'importance du talent au Canada pour soutenir un secteur quantique fort et concurrentiel¹⁹². Mme Simmons a affirmé que « notre réussite ou notre échec dans cette course dépend des talents que nous attirerons ou que nous perdrons »¹⁹³. M. Vats a affirmé que le talent canadien est reconnu et recherché à travers le monde. Il a ajouté qu'il faut donc se concentrer sur le talent pour mieux exploiter le potentiel des technologies quantiques au pays, ce qui favorisera la commercialisation des travaux et fournira des bénéfices directs aux

187 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1430, 1445 (Schwartz), D-Wave, [Mémoire](#).

188 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1620 (Laflamme).

189 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1430 (McCauley).

190 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1620 (Laflamme). Depuis la fin de cette étude, le Gouvernement du Canada a déposé son [Budget 2022](#). Dans ce budget, il propose un fonds de croissance du Canada plutôt qu'un programme similaire à celui proposé aux États-Unis.

191 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1640 (St-Jean).

192 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310, 1350 (McCauley), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1600 (Gagnon-Gordillo).

193 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).



Canadiens¹⁹⁴. Des témoins abondaient dans le même sens et ont souligné l'importance pour la SQN de mettre en place des moyens pour attirer et former la main d'œuvre à tous les niveaux au pays pour combler les besoins des centres de recherche et des entreprises¹⁹⁵.

Développer

Il est important de soutenir et développer une expertise variée dans le domaine quantique et dans les domaines connexes. Selon Mme Broadbent, il y a un manque de professeurs qui soutiennent des environnements de recherche avancés¹⁹⁶. De plus, puisqu'il y a de

nombreuses technologies pour développer un ordinateur quantique, les étudiants n'ont souvent pas l'expertise nécessaire pour les travaux de l'entreprise pour laquelle ils sont engagés, ajoutant le fardeau de la formation à l'entreprise. La formation technique devrait être un élément essentiel de la SQN¹⁹⁷. Les témoins ont ajouté qu'un individu n'a pas besoin d'avoir un doctorat en physique pour avoir une carrière en quantique¹⁹⁸. L'industrie touche à tellement de domaines, qu'elle aura besoin d'experts dans d'autres domaines, comme la cryogénie, l'ingénierie, et les affaires¹⁹⁹. Selon Mme Ghose, cette expertise interdisciplinaire est cruciale, puisqu'on ne sait pas quelle technologie réussira²⁰⁰. Pour que les applications créées soient utilisées, il y aura aussi un besoin de

« [N]otre réussite ou notre échec dans cette course dépend des talents que nous attirerons ou que nous perdrons. »

194 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1350 (Vats).

195 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415, 1455 (Lütkenhaus), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (Yazdi), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1600 (Gagnon-Gordillo), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose), IBM Canada, [Mémoire](#).

196 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent).

197 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1455 (Lütkenhaus), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1715 (Janik), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, Yazdi (1640), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1335 (Schwartz), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1455 (Simmons).

198 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

199 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1450 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Schwartz), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1450 (Lütkenhaus), D-Wave, [Mémoire](#).

200 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose).

former des gens qui ne travaillent pas dans le domaine de la quantique, mais qui sont capables d'utiliser les nouvelles applications²⁰¹.

Les témoins ont discuté de différentes idées pour améliorer la formation pour l'industrie quantique. Les universités pourraient offrir plus de programmes d'études quantiques et cryptographiques²⁰². Selon Mme Broadbent, il faudrait aussi plus de programmes, stages et opportunités pour lier les étudiants à de futures carrières dans le domaine quantique²⁰³. Il y a beaucoup de financement pour les étudiants au premier cycle, mais il y a un besoin de plus de financement pour les étudiants aux cycles d'études supérieurs, canadiens et étrangers²⁰⁴. M. McCauley a souligné que l'Université de Calgary développe actuellement le premier diplôme universitaire à la maîtrise en informatique quantique et planifie admettre des étudiants dès septembre 2023²⁰⁵.

Le Canada pourrait créer un programme national de formation quantique²⁰⁶. Mme Hall a expliqué que les cours à l'intérieur de ce programme pourraient être offerts à diverses institutions à travers le pays, ce qui permettrait de briser la concurrence dans l'espace universitaire au Canada pour obtenir des étudiants²⁰⁷. Cette coordination universitaire serait bénéfique pour tous et améliorerait l'inclusion et la diversité en quantique puisque des étudiants à travers le pays pourraient s'y inscrire²⁰⁸. Ce programme pourrait offrir plusieurs cheminements de carrière en informatique quantique afin de rendre la main d'œuvre canadienne souple et attirer les talents d'ailleurs²⁰⁹. Il pourrait aussi traiter des enjeux de sécurité²¹⁰. Enfin, Mme Hall a affirmé qu'il serait important qu'il y ait une reconnaissance officielle à la fin du programme pour attirer des étudiants de l'extérieur du pays²¹¹. Selon D-Wave, ce programme pourrait être mis en place rapidement grâce à

201 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1455 (Lütkenhaus).

202 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1410 (Broadbent), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1410 (McCauley).

203 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1410 (Broadbent).

204 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1350 (McCauley).

205 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415 (Sanders).

206 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Schwartz), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1630 (Hall).

207 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1630 (Hall).

208 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1720 (Hall).

209 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose).

210 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1335 (Schwartz).

211 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1630 (Hall).



un projet-pilote par l'entremise d'organisations qui connaissent déjà l'informatique quantique comme le Creative destruction Lab à Toronto²¹².

Ce programme pourrait être multidisciplinaire, ouvert à différents types de parties prenantes et offert conjointement avec l'industrie quantique. Par exemple, il pourrait être offert à des étudiants, à des fonctionnaires et à des gens travaillant déjà dans des entreprises²¹³. En offrant le programme conjointement avec l'industrie, cela pourrait inciter les entreprises spécialisées en quantique à offrir une formation pour leurs technologies individuelles afin de permettre la mise à niveau et le perfectionnement des compétences²¹⁴.

Les témoins ont discuté de l'importance de la collaboration entre les chercheurs canadiens et les chercheurs à l'extérieur du pays. Des témoins ont affirmé qu'il avait un grand esprit de collaboration entre les chercheurs au pays²¹⁵. Il était tout de même important que les chercheurs canadiens collaborent avec les chercheurs internationaux, car même si le Canada a beaucoup de talent en quantique, sa population représente une petite proportion du talent mondial²¹⁶. Mme Schwartz a rappelé que le Canada ne peut pas être expert dans tous les domaines, soulignant l'importance de la mise en place de partenariats internationaux, particulièrement avec des alliés comme l'Australie ou l'Europe²¹⁷.

La diversité dans le talent dans les domaines des sciences, particulièrement en quantique, est aussi un enjeu important. Mmes Ghose et Broadbent ont expliqué qu'il y a peu de femmes dans le domaine quantique, car elles font face à plus de barrières²¹⁸. Mme Ghose a ajouté que

Les femmes, les minorités de genre et les personnes de couleur restent sous-représentées dans les disciplines scientifiques, particulièrement en physique, où les femmes ne constituent qu'un cinquième du corps étudiant. En outre, on n'a recensé aucune enseignante noire ou autochtone en physique au Canada²¹⁹.

212 D-Wave, [Mémoire](#).

213 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1320 (Schwartz), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1630 (Hall).

214 D-Wave, [Mémoire](#).

215 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415 (Sanders), 1310 (McCauley).

216 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1615 (Laflamme).

217 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1430 (Schwartz).

218 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305, 1400 (Broadbent), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1640 (Ghose).

219 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose).

Il y a donc un potentiel non utilisé de talent²²⁰. Elle a expliqué qu'il « n'est pas très efficace ou optimal d'exploiter seulement une partie de l'ensemble de la main-d'œuvre, ce qui représente des possibilités perdues sur le plan des idées, sur le plan des progrès économiques »²²¹.

Pour avoir un portrait de la situation au pays, le recensement fournit des données sur l'emploi dans les sciences naturelles et appliquées et dans des domaines apparentés, pour les Canadiens appartenant à divers groupes. Dans les tableaux 3 et 4, l'on remarque notamment que, toutes catégories confondues, beaucoup plus d'hommes que de femmes ont un revenu d'emploi dans ces domaines. Aussi, les revenus médian et moyen sont plus bas pour les gens appartenant à une minorité visible ou s'identifiant à l'identité autochtone que pour ceux à l'extérieur de ces groupes.

220 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose).

221 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1640 (Ghose).



**Tableau 3 — Tableaux de données, Recensement de 2016,
Emplois dans les sciences naturelles et appliquées et
dans des domaines apparentés, identité autochtone**

	Nombre de bénéficiaires d'un revenu d'emploi	Revenu d'emploi médian (\$) en 2015	Revenu d'emploi moyen (\$) en 2015
Total	1 273 150	66 207	73 365
Identité autochtone	25 755	58 140	64 428
Sexe masculin	19 095	61 319	67 917
Sexe féminin	6 655	49 333	54 471
Non autochtone	1 247 395	66 371	73 533
Sexe masculin	968 565	69 176	77 040

Sources : Tableau préparé par la Bibliothèque du Parlement à partir de données tirées de Statistique Canada, « Profession – Classification nationale des professions (CNP) 2016 (691), statistiques du revenu d'emploi (3), plus haut certificat, diplôme ou grade (7), [minorités visibles \(15\)](#), travail pendant l'année de référence (4), âge (4D) et sexe (3) pour la population âgée de 15 ans et plus ayant travaillé en 2015 et ayant déclaré un revenu d'emploi en 2015, dans les ménages privés du Canada, provinces et territoires et régions métropolitaines de recensement, Recensement de 2016 – Données-échantillon (25 %) » et « Profession – Classification nationale des professions (CNP) 2016 (691), statistiques du revenu d'emploi (3), plus haut certificat, diplôme ou grade (7), [identité autochtone \(9\)](#), travail pendant l'année de référence (4), âge (4D) et sexe (3) pour la population âgée de 15 ans et plus ayant travaillé en 2015 et ayant déclaré un revenu d'emploi en 2015, dans les ménages privés du Canada, provinces et territoires et régions métropolitaines de recensement, Recensement de 2016 – Données-échantillon (25 %) », bases de données, consultées le 8 décembre 2021.

**Tableau 4 — Tableaux de données, Recensement de 2016,
Emplois dans les sciences naturelles et appliquées et
dans des domaines apparentés, minorités visibles**

	Nombre de bénéficiaires d'un revenu d'emploi	Revenu d'emploi médian (\$) en 2015	Revenu d'emploi moyen (\$) en 2015
Total	1 273 150	66 207	73 365
Minorité visible	349 945	63 843	68 835
Sexe masculin	267 455	65 851	71 391
Sexe féminin	82 490	57 721	60 545
Non minorité visible	923 205	67 132	75 083
Sexe masculin	720 205	70 038	78 896
Sexe féminin	203 000	57 426	61 553

Sources : Tableau préparé par la Bibliothèque du Parlement à partir de données tirées de Statistique Canada, « Profession – Classification nationale des professions (CNP) 2016 (691), statistiques du revenu d'emploi (3), plus haut certificat, diplôme ou grade (7), [minorités visibles \(15\)](#), travail pendant l'année de référence (4), âge (4D) et sexe (3) pour la population âgée de 15 ans et plus ayant travaillé en 2015 et ayant déclaré un revenu d'emploi en 2015, dans les ménages privés du Canada, provinces et territoires et régions métropolitaines de recensement, Recensement de 2016 – Données-échantillon (25 %) » et « Profession – Classification nationale des professions (CNP) 2016 (691), statistiques du revenu d'emploi (3), plus haut certificat, diplôme ou grade (7), [identité autochtone \(9\)](#), travail pendant l'année de référence (4), âge (4D) et sexe (3) pour la population âgée de 15 ans et plus ayant travaillé en 2015 et ayant déclaré un revenu d'emploi en 2015, dans les ménages privés du Canada, provinces et territoires et régions métropolitaines de recensement, Recensement de 2016 – Données-échantillon (25 %) », bases de données, consultées le 8 décembre 2021.

Les témoins ont réitéré l'importance de bâtir un secteur des sciences plus inclusif. Mme Ghose aimait que le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie insiste sur l'analyse comparative entre les sexes plus pour toute demande de financement. Toutefois, le gouvernement devrait être plus proactif, car selon elle, il n'y a pas eu d'amélioration depuis 10 ans dans l'inclusion des minorités dans les sciences²²². Selon elle, il n'y a pas d'éléments qui illustrent que les programmes gouvernementaux ont mené à plus d'inclusion dans les domaines des sciences, ce qui démontre que le gouvernement canadien doit les repenser et les recadrer pour créer une structure qui

222 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1640 (Ghose).



valorise tout le potentiel disponible²²³. Mme Broadbent a ajouté que pour stimuler la participation des femmes dans les domaines des sciences, il faudrait aborder des thèmes comme le harcèlement et le soin des enfants, qui peuvent être des barrières à la participation des femmes²²⁴. Mmes Ghose et Broadbent ont ajouté que l'équité, la diversité et l'inclusion sont reconnues comme des catalyseurs pour l'innovation et le Canada pourrait bénéficier de plus d'efforts dans ce domaine²²⁵.

En matière de diversité au niveau de la langue, Mme Broadbent a aussi souligné que les services bilingues dans les sciences auraient besoin de plus de fonds²²⁶. Selon elle, le Canada devrait doubler les ressources à l'enseignement pour les cours dans les deux langues officielles²²⁷.

Attirer et garder

« Il est actuellement plus facile d'engager de l'étranger un cuisinier qu'un physicien quantique. »

Plusieurs témoins ont déploré que le talent au Canada soit recruté à l'international. Ils ont affirmé que les universités à travers le pays étaient performantes pour attirer et former le talent²²⁸. Le problème est que ce talent quitte le pays²²⁹. Mme Broadbent a expliqué qu'il y a une concurrence à travers le monde pour le talent en quantique et le Canada perd du talent pour des compagnies étrangères qui offrent un meilleur salaire ou des opportunités

plus attirantes²³⁰. Si le Canada veut garder son talent, il doit pouvoir égaler les salaires mondiaux²³¹. Mme Simmons a souligné que pour que les entreprises œuvrant en quantique au Canada puissent égaler les salaires mondiaux, elles doivent avoir des

223 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1730 (Ghose).

224 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1400 (Broadbent).

225 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose).

226 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1415 (Broadbent).

227 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1445 (Broadbent).

228 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1440 (Fursman).

229 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405, 1435 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1455 (Sanders), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1600 (Gagnon-Gordillo).

230 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305, 1350 (Broadbent).

231 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1440 (Fursman), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

revenus substantiels, car les salaires sont environ de cinq à dix fois la moyenne canadienne selon elle²³². M. Vats a ajouté qu'il faut mettre en place des stratégies pour ramener au pays les étudiants canadiens qui vont étudier dans ces domaines à l'extérieur du pays²³³.

Selon des témoins, il pouvait être difficile d'attirer des chercheurs et travailleurs en quantique au pays à cause du processus d'attribution de visas. M. Yazdi a affirmé qu'il était difficile pour une entreprise d'engager un employé qualifié de l'étranger : selon lui,

« De grands chercheurs [ont] affirmé être partis du Canada après leurs études parce qu'il était trop difficile pour leur famille d'obtenir la résidence permanente. »

à cause de la bureaucratie associée au processus, il est actuellement plus facile d'engager de l'étranger un cuisinier qu'un physicien quantique²³⁴. M. Gagnon-Gordillo a déploré qu'il y ait un taux élevé de refus de visas dans plusieurs marchés prioritaires, comme l'Afrique francophone²³⁵. Pour répondre à ce problème, des témoins ont proposé d'accélérer l'attribution de visas étudiants et de travail aux individus qui veulent venir travailler ici et se former dans le domaine de la quantique²³⁶. Selon M. Blais, les visas auraient un impact concret dès maintenant sur toute la

communauté quantique²³⁷. M. Janik a mentionné que de son côté, Xanadu avait réussi à recruter à l'international le talent nécessaire à ses opérations grâce au *Programme pour le Volet des talents mondiaux* d'Emploi et Développement social Canada²³⁸.

Selon des témoins, la lenteur et la complexité du processus d'immigration empêchent de nombreux individus de rester au pays après leurs études. Mme Simmons a affirmé que l'ouverture à l'immigration est une des forces du Canada, mais le processus est beaucoup trop lent²³⁹. MM. Yazdi et Laflamme ont expliqué que les étudiants quittent le

232 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

233 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1340 (Vats).

234 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (Yazdi).

235 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

236 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1500 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

237 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1500 (Blais).

238 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1625 (Janik).

239 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).



pays après leurs études parce qu'il est difficile d'y rester travailler²⁴⁰. M. Yazdi a expliqué que les étudiants peuvent obtenir un permis de deux ans à la suite de leurs études pour rester au pays, mais le processus d'immigration prend plus de deux ans. Cette attente est donc stressante pour les étudiants étrangers et ils préfèrent aller dans un pays où le processus est moins stressant ou où les salaires sont plus élevés²⁴¹.

Les témoins ont souligné l'importance d'aussi faciliter le processus pour que la famille d'un chercheur puisse s'établir avec lui. M. McCauley a affirmé qu'il fallait rendre le processus plus facile et rapide pour les individus voulant rester travailler au Canada en quantique, mais aussi pour leur famille avec laquelle ils veulent s'installer²⁴².

Mme Simmons a noté avoir discuté avec de grands chercheurs et ces derniers ont affirmé être partis du Canada après leurs études parce qu'il était trop difficile pour leur famille d'obtenir la résidence permanente²⁴³.

Les témoins ont proposé diverses solutions pour améliorer les processus d'immigration pour le talent en quantique. Par exemple, le Gouvernement du Canada pourrait revoir le processus d'immigration pour les étudiants dans les domaines des sciences, afin qu'ils puissent obtenir leur résidence permanente avant d'obtenir leur diplôme. Ceci assurerait que le Canada garde le talent dans lequel il investit²⁴⁴. Selon Mme Simmons, il pourrait aussi accélérer le processus d'immigration de façon sécuritaire avec la collaboration notamment du SCRS et CST. Ces derniers pourraient aider à évaluer les candidats en partenariat avec l'industrie quantique. Une fois approuvé, le candidat pourrait être approuvé dans le processus d'immigration à l'intérieur de six semaines selon elle²⁴⁵. Elle a souligné que les programmes d'immigration accélérés dans les années 1990 sont « presque les seuls à avoir favorisé le boom des télécommunications à Ottawa »²⁴⁶. Selon elle, le Canada a besoin du même genre de programme pour la quantique²⁴⁷.

240 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1645 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1715 (Yazdi).

241 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1715 (Yazdi).

242 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1420 (McCauley).

243 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

244 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1715 (Yazdi).

245 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1350 (Simmons).

246 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

247 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1330 (Simmons).

Coordination des efforts

Selon de nombreux témoins, le développement d'écosystèmes quantiques au pays où il y a une interaction entre le milieu universitaire et les entreprises est primordial. Des témoins ont affirmé que les écosystèmes sont cruciaux pour passer de la recherche aux technologies qui auront un réel impact²⁴⁸. Ces écosystèmes permettraient aussi de déterminer les besoins du secteur public²⁴⁹. M. Laflamme a souligné l'importance de penser aux sciences quantiques comme un tout. Il a ajouté que « l'édification d'écosystèmes est importante pour soutenir le passage des idées quantiques aux technologies quantiques avec un effet sociétal »²⁵⁰. Il est donc très important d'avoir des écosystèmes²⁵¹. Selon Mme Broadbent, le Canada a un écosystème quantique dynamique²⁵². M. Laflamme a noté qu'il y a déjà des interactions entre des entreprises et universités au pays (par exemple Anyon Systems et Waterloo; 1QBit et Sherbrooke), mais celles-ci sont principalement ponctuelles. Il faudrait donc les solidifier pour augmenter la réussite du Canada²⁵³. M. Laflamme a ajouté que le Canada doit enlever les vases clos entre les différentes parties prenantes du domaine quantique au pays et créer de véritables écosystèmes²⁵⁴.

La SQN devrait soutenir le développement des écosystèmes quantiques au pays. Plutôt que de n'être qu'une série de programmes, la SQN devrait être une approche coordonnée entre les universitaires, le gouvernement et l'industrie et soutenir les partenariats entre les différentes parties prenantes²⁵⁵. Le financement distribué à travers la SQN devrait soutenir une interaction positive entre les universités et l'industrie²⁵⁶. Par exemple, il pourrait encourager l'accès en location aux infrastructures et laboratoires et

248 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1730 (Ippersiel), IBM Canada, [Mémoire](#).

249 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1415 (Schwartz).

250 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme).

251 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1630 (Laflamme).

252 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1305 (Broadbent).

253 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme).

254 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540 (Laflamme).

255 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1505 (Lütkenhaus), INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1540, 1600 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1430 (McCauley), INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1345 (Fursman), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Hall).

256 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1700 (Laflamme), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Hall), IBM Canada, [Mémoire](#).



les consultations avec experts pour les différentes entreprises et organisations²⁵⁷. Selon M. St-Jean, il serait insensé de financer la construction de ces infrastructures à répétition; il est préférable de les construire dans des régions stratégiques puis d'offrir leur accès en location²⁵⁸. Il a ajouté que le succès futur de l'industrie quantique au pays dépendra du soutien offert aux écosystèmes entourant les centres d'excellence en technologie quantique²⁵⁹. Mme Hall croyait que la SQN devrait aussi financer des initiatives à travers le pays, et non seulement autour des centres d'excellence, afin de bâtir une base large et solide de talent et d'expertise pour les vingt années à venir²⁶⁰.

La SQN devrait aussi soutenir des initiatives à travers le pays pour favoriser l'adoption de la technologie par les différentes industries. Selon M. Gagnon-Gordillo, il y a beaucoup de joueurs clés et d'initiatives intéressantes au pays, mais il faut plus de cohésion entre

« L'édification d'écosystèmes est importante pour soutenir le passage des idées quantiques aux technologies quantiques avec un effet sociétal. »

les provinces et les écosystèmes locaux. Selon lui, cela améliorerait aussi la position internationale du Canada en quantique²⁶¹. M. McCauley a ajouté que pour que toutes les régions du pays bénéficient de l'essor des technologies quantique, il doit y avoir des applications pour les secteurs industriels de ces régions. Ces applications sont souvent développées de façon plus adéquate à travers des partenariats

industrie-universités à caractère local pour refléter les besoins de l'industrie²⁶².

M. Gagnon-Gordillo a souligné que ce ne sont pas toutes les entreprises à l'extérieur du domaine qui connaissent les possibilités associées aux technologies quantiques, soulignant l'importance de ces partenariats²⁶³. Mme Ghose a ajouté qu'il faudra des experts multidisciplinaires pour identifier les besoins de chaque industrie et des solutions quantiques réalistes à ces problèmes²⁶⁴.

257 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1550 (St-Jean).

258 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1605 (St-Jean).

259 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1550 (St-Jean).

260 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1545 (Hall).

261 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

262 INDU, [Témoignages](#), 1 avril 2022, 1310 (McCauley).

263 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1605 (Gagnon-Gordillo).

264 INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1535 (Ghose).

Développer les écosystèmes quantiques pourrait aider à attirer et garder le talent au pays. Selon M. Blais, la croissance des écosystèmes contribuerait à la rétention de la main d'œuvre au pays en attirant des étudiants, des entreprises et des investisseurs internationaux²⁶⁵. L'écosystème va permettre de faire l'assemblage de talent nécessaire pour passer de sciences quantiques aux technologies quantiques. Le Canada sera plus attractif à l'international, car les étudiants pourront voir qu'il y a plusieurs opportunités. Ils pourront voir que même s'ils échouent dans le développement d'une technologie, il y aura d'autres opportunités, car il y a beaucoup de capitaux et de soutien²⁶⁶. Ils sentiront qu'ils joignent une communauté²⁶⁷. Barry C. Sanders, professeur et directeur scientifique, Institut des sciences et des technologies quantiques, a ajouté que le Canada ne peut pas former le talent, puis penser que les entreprises viendront au pays. Il devrait faire les deux conjointement, pour que les étudiants aient des opportunités dès qu'ils terminent leurs études. Selon lui, il y a actuellement un fossé entre le développement de talent et la création d'entreprises²⁶⁸.

Les écosystèmes permettraient aussi de soutenir les étudiants qui veulent développer des entreprises en quantique. M. Blais a affirmé qu'il ne faut pas compter sur les professeurs pour créer des entreprises, car cela ferait en sorte qu'il n'y aurait plus de professeurs pour former les étudiants. Il faudrait plutôt encourager les étudiants à créer leur propre compagnie²⁶⁹. M. Blais a mentionné qu'il y a déjà une collaboration entre certaines entreprises et le milieu universitaire, car les nouvelles entreprises sont souvent issues de la recherche fondamentale²⁷⁰. Il a expliqué que l'Institut quantique de Sherbrooke s'assure que les étudiants aux études supérieures ont accès à de la formation pour devenir jeunes entrepreneurs et créer leur entreprise²⁷¹. MM. Blais et Gagnon-Gordillo ont toutefois noté que les investisseurs au Canada sont plus réticents à investir dans les projets à long terme et à soutenir les nouvelles entreprises en quantique. Selon eux, la SQN pourrait soutenir les premières années des entreprises en

265 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1410 (Blais).

266 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1440 (Blais).

267 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1610 (Laflamme).

268 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1455 (Sanders).

269 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1435 (Blais).

270 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1440 (Blais).

271 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1405 (Blais).



démarrage en quantique²⁷². Ultiment, les entreprises créées bénéficieraient aussi de l'écosystème grâce à la proximité des infrastructures et de l'expertise²⁷³.

Les témoins ont présenté des exemples d'écosystèmes ou de partenariats déjà annoncés ou établis :

- La zone d'innovation en sciences quantiques et en applications technologiques au Québec permettra de joindre plusieurs parties prenantes. M. Blais a expliqué qu'elle contribuera à la croissance de l'écosystème quantique à Sherbrooke et dans tout le Canada. Il a ajouté que cet écosystème aidera le pays à conserver ses talents et à attirer encore plus d'étudiants, d'entreprises et d'investisseurs de l'étranger²⁷⁴. Selon M. Blais, cette zone encouragera les étudiants à démarrer leur entreprise et encouragera les entreprises à s'établir dans la région²⁷⁵. IBM Canada saluait aussi la création de cette zone et a expliqué qu'il y installerait notamment un ordinateur Quantum System One, le premier ordinateur quantique à accès restreint installé au Canada²⁷⁶.
- L'initiative Quantum City de Calgary est un partenariat entre l'Université de Calgary, la ville de Calgary, l'entreprise indienne Mphasis et l'Alberta, afin de développer l'écosystème quantique en Alberta. Elle permettra de mobiliser des parties prenantes à tous les niveaux²⁷⁷. Elle veut mettre en place des moyens de compléter le travail des experts à travers le pays. M. Sanders a souligné que l'Alberta n'a pas reçu autant de financement que d'autres grands centres pour la quantique au pays, mais veut maintenant participer en collaboration avec les autres experts²⁷⁸.

OBSERVATIONS ET RECOMMANDATIONS

Le Comité est très heureux que cette étude sur l'informatique quantique ait reçu un accueil très favorable de la part des différentes parties prenantes de l'industrie

272 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1435 (Blais), INDU, [Témoignages](#), 5 avril 2022, 1600 (Gagnon-Gordillo).

273 INDU, [Témoignages](#), 29 mars 2022, 1600 (Laflamme).

274 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1410 (Blais).

275 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1440 (Blais).

276 IBM Canada, [Mémoire](#).

277 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415 (Sanders).

278 INDU, [Témoignages](#), 25 mars 2022, 1415 (Sanders).

quantique. Ces parties prenantes ont souligné l'importance pour le Comité d'étudier un sujet aussi complexe qui entraînera des répercussions importantes à plusieurs niveaux au Canada.

Le Comité salue l'annonce, dans le Budget fédéral de 2021, d'une Stratégie quantique nationale²⁷⁹. Considérant l'importance à court et à long terme de son industrie quantique, le pays a besoin de cette stratégie pour coordonner les investissements et le financement offert à l'industrie quantique. Cette stratégie est un bon pas en avant pour le Canada dans la course mondiale vers l'informatique quantique. Toutefois, les besoins de financement de l'industrie sont considérables, puisque la technologie est très complexe et est en plein développement. Le Comité est d'accord avec les témoins qu'avec le financement de 360 millions de dollars annoncés, le Gouvernement du Canada devra faire des investissements stratégiques. Le Comité recommande donc :

Recommandation 1

Que le Gouvernement du Canada, en consultation avec des experts de l'industrie quantique, s'assure que la Stratégie quantique nationale offre suffisamment de ressources, et ce, de façon stratégique, aux différentes parties prenantes de l'industrie quantique au pays, afin de soutenir adéquatement le développement des technologies les plus prometteuses. Pour ce faire, il pourrait par exemple, en collaboration avec le Conseil national de recherches Canada, lancer davantage de défis quantiques ciblés avec une enveloppe de fonds proportionnelle à l'ampleur du défi annoncé.

Recommandation 2

Que le gouvernement suive de près l'évolution de l'industrie du capital de risque dans l'industrie des matériaux avancés et des technologies quantiques et mette en place de nouveaux fonds, soutenus par le gouvernement et les partenaires, mieux adaptés pour aider les jeunes entreprises innovantes, à fort potentiel de croissance, incluant celles situées à l'extérieur des grands centres métropolitains, à avoir accès à du capital d'investissement au stade de l'amorçage.

Recommandation 3

Que le gouvernement du Canada veille à s'assurer d'une offre constante de capitaux de risque tout au long de la chaîne de financement des entreprises, afin que leurs projets les plus prometteurs puissent obtenir un financement adapté et qu'il travaille en étroite

279 Gouvernement du Canada, [Budget 2021](#).



collaboration avec les provinces et territoires qui possèdent déjà des stratégies ou un Centre d'excellence, tout en favorisant la participation du secteur privé.

Au cours de l'étude, le Comité a été saisi par les nombreux témoignages sur les risques posés par l'informatique quantique pour la cryptographie actuelle. Le Comité est d'accord avec les témoins qu'il y a urgence d'agir. En effet, bien que, selon plusieurs experts, l'ordinateur quantique ne soit pas capable de briser les systèmes de chiffrement actuels avant plusieurs années, il faudra de nombreuses années pour mettre en place les systèmes de chiffrement nécessaires pour protéger toutes les communications. Il est d'ailleurs difficile de prédire quels systèmes résisteront à l'ordinateur quantique, et il est donc important de mettre en place plusieurs couches de protection pendant que des systèmes plus robustes sont développés. Il est donc vital pour le Gouvernement du Canada de mettre en place une stratégie dès maintenant pour protéger les systèmes de chiffrement, particulièrement les systèmes bancaires et les systèmes liés aux infrastructures critiques comme les stations électriques et les bases militaires. Le Comité recommande donc :

Recommandation 4

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada, en coordination avec le Conseil national de recherches Canada, le Service canadien du renseignement de sécurité et le Centre de la sécurité des télécommunications, et conjointement avec les parties prenantes du secteur bancaire, des réseaux électriques, des installations nucléaires, des communications gouvernementales, des communications militaires et d'autres industries touchées, développe le plus rapidement possible une stratégie pour protéger les systèmes de chiffrement actuels à divers niveaux :

- **À court terme pour que les données ne soient pas emmagasinées par des groupes ou des organisations mal intentionnées;**
- **À plus long terme pour protéger les systèmes des risques posés par l'informatique quantique.**

Plusieurs témoins ont mentionné combien il est difficile pour les entreprises et les centres de recherche travaillant dans le développement de technologies quantiques d'obtenir les matériaux nécessaires à leurs travaux. La plupart de ces matériaux ne sont pas produits au Canada et les chaînes d'approvisionnement étrangères connaissent souvent des retards importants. Cette dépendance aux chaînes d'approvisionnement étrangères pose aussi des risques géopolitiques, car les pays qui possèdent la capacité de production des matériaux avancés pourraient intervenir à tout moment pour

contrecarrer les efforts du Canada en limitant l'accès aux composantes importantes. Cet enjeu touche non seulement les matériaux avancés, mais aussi de nombreux produits au Canada dont la chaîne d'approvisionnement est située à l'extérieur du pays.

Pour faire face à ces enjeux et soutenir l'industrie quantique, le Canada devrait bâtir davantage sa capacité de fabrication de matériaux avancés. Il devrait donc mettre en place des investissements stratégiques le plus rapidement possible pour soutenir le développement de cette capacité. Le Comité salue l'annonce du gouvernement en février 2022 d'un investissement de 240 millions de dollars canadiens pour renforcer « le rôle du Canada à titre de chef de file mondial de la photonique et [stimuler] la mise au point et la production de semi-conducteurs »²⁸⁰. Le Comité espère que ces investissements seront déployés rapidement pour répondre aux besoins de nombreuses industries, dont l'industrie quantique. Le Comité recommande donc :

Recommandation 5

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada mette en place les investissements nécessaires pour bâtir une chaîne d'approvisionnement résiliente et robuste pour les matériaux avancés et pour développer la capacité de fabrication commerciale de ces matériaux au pays afin de soutenir de façon continue la croissance des industries de technologie avancée. Ceci permettra aussi de travailler vers une souveraineté numérique afin de protéger l'industrie des risques que pose la dépendance aux chaînes d'approvisionnement à l'extérieur du pays.

Le Comité est en accord avec les témoins quant à la grande valeur du talent canadien pour l'industrie quantique. Attirer et garder le talent dans les technologies quantiques au pays est crucial pour l'essor du secteur. Le Comité déplore donc certains enjeux en matière de talent qui freinent le développement de tout son potentiel, notamment quant à l'attribution de visas pour accueillir des travailleurs étrangers et quant au processus d'immigration pour garder les étudiants une fois leurs études terminées. Le Canada aurait tout à gagner à mettre en place des moyens pour s'assurer que les étudiants dans lesquels il a déjà investi restent au pays. Le Comité déplore aussi le manque de diversité dans le talent dans les domaines des sciences au pays. Le Comité recommande donc :

280 [Gouvernement du Canada, *Le gouvernement du Canada annonce un important investissement dans les industries canadiennes des semi-conducteurs et de la photonique.*](#)



Recommandation 6

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada développe une approche coordonnée pour soutenir le développement et la rétention du talent en quantique au pays. Cette approche pourrait comprendre:

- **Mettre en place des initiatives pour stimuler la participation des groupes sous-représentés dans les sciences, notamment les personnes racialisées, les femmes et les Autochtones;**
- **Établir, en collaboration avec les universités, un programme national de formation quantique pour soutenir le développement de l'expertise en quantique, attirer le talent international et stimuler la collaboration entre les chercheurs à travers le pays;**
- **Faciliter l'attribution de visas pour les individus voulant venir étudier ou travailler dans le secteur quantique au pays; et**
- **Accélérer le processus d'immigration pour s'assurer que les étudiants formés au pays peuvent y demeurer pour travailler dans le secteur quantique.**

Plusieurs programmes ont été mis en place dans les dernières années pour soutenir la recherche dans le domaine des sciences au pays. Plusieurs chercheurs ont utilisé ces programmes pour soutenir leurs travaux dans le domaine quantique dans les dernières années et le Comité salue ces efforts. Toutefois, les témoins s'entendaient sur le besoin d'avoir accès à des programmes plus ciblés pour refléter les besoins de l'industrie quantique, où les technologies peuvent évoluer rapidement et où certains projets sont développés sur plus de dix ans. De plus, puisque les technologies quantiques sont en plein développement, il serait intéressant de mettre en place un programme spécifiquement pour soutenir le développement d'applications pouvant répondre aux problèmes de différentes industries au pays. Enfin, les technologies quantiques étant complexes, le Gouvernement du Canada devrait aussi avoir une équipe d'experts associés à ces programmes pour s'assurer qu'il prend les décisions les plus stratégiques. Le Comité recommande donc :

Recommandation 7

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada se dote d'une équipe quantique dédiée et indépendante afin de pouvoir évaluer les projets

soumis dans le cadre d'initiatives quantiques et de faire l'acquisition d'outils quantiques pour soutenir les travaux des chercheurs et des entreprises au pays.

Recommandation 8

Que le Gouvernement du Canada s'assure que les programmes mis en place dans le cadre de la Stratégie quantique nationale soutiennent adéquatement les besoins des différentes parties prenantes de l'industrie quantique, en offrant notamment du financement plus substantiel en temps opportun et à plus long terme pour refléter la réalité de développer les technologies quantiques, notamment l'ordinateur quantique.

Recommandation 9

Que, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale, le Gouvernement du Canada mette en place un programme de type bac à sable pour soutenir la mise en place d'applications qui répondent aux problèmes des différentes industries à travers le pays et ainsi accélérer leur commercialisation.

Au cours de l'étude, les témoins se sont entendus sur l'importance de bâtir des écosystèmes quantiques à travers le pays. Ces écosystèmes permettent de mettre en place des investissements stratégiques et d'y attirer les entreprises et le talent au pays tout en soutenant les travaux des chercheurs. Dans le domaine des technologies quantiques, les entreprises sont souvent bâties à partir de travaux de recherche fondamentale. Toutes les étapes du développement des technologies quantiques, de la recherche à la commercialisation, doivent donc être soutenues de façon coordonnée et les écosystèmes permettent de le faire. Par exemple, l'annonce de la zone d'innovation en technologies quantiques au Québec a reçu un accueil très favorable de la part des chercheurs et de l'industrie. Le Canada gagnerait à soutenir plus d'initiatives de ce genre à travers le pays pour renforcer son rôle de chef de file en quantique tout en soutenant les différentes régions à travers leurs besoins respectifs. Le Comité recommande donc :

Recommandation 10

Que le Gouvernement du Canada, lors de la mise en œuvre de sa Stratégie quantique nationale, s'assure qu'il y ait une cohésion entre les différentes initiatives et entre le soutien offert aux chercheurs et aux entreprises, afin de bâtir des écosystèmes quantiques forts à travers le pays qui permettront de promouvoir le développement de talent, d'attirer les entreprises et d'ultimement faire progresser le Canada dans son objectif d'être un chef de file mondial en quantique.



CHAMBRE DES COMMUNES
HOUSE OF COMMONS
CANADA

Recommandation 11

Que le gouvernement du Canada s'efforce de terminer et de publier la Stratégie quantique nationale avant le 1^{er} mars 2023, et si ce délai n'est pas respecté, que le ministre de l'Innovation, des Sciences et de l'Industrie, ainsi que les fonctionnaires ministériels concernés, comparaissent devant le Comité permanent de l'industrie et de la technologie de la Chambre des communes pendant au moins deux heures pour fournir une mise à jour sur l'état et le développement de cette stratégie.

ANNEXE A LISTE DES TÉMOINS

Le tableau ci-dessous présente les témoins qui ont comparu devant le Comité lors des réunions se rapportant au présent rapport. Les transcriptions de toutes les séances publiques reliées à ce rapport sont affichées sur la [page Web du Comité sur cette étude](#).

Organismes et individus	Date	Réunion
À titre personnel	2022/03/25	13
M. Alexandre Blais, professeur et directeur scientifique Institut quantique, Université de Sherbrooke		
M. Norbert Lütkenhaus, directeur général Institut d'informatique quantique, University of Waterloo		
M. Barry C. Sanders, professeur et directeur scientifique Institut des sciences et des technologies quantiques, University of Calgary		
Conseil national de recherches du Canada	2022/03/25	13
Mme Geneviève Tanguay, vice-présidente Technologies émergentes		
Ministère de l'Industrie	2022/03/25	13
M. Nipun Vats, sous-ministre adjoint Secteur des sciences et de la recherche		
À titre personnel	2022/03/29	14
M. Raymond Laflamme, professeur de physique Chaire de recherche du Canada sur l'information quantique, University of Waterloo		
Anyon Systems Inc.	2022/03/29	14
M. Alireza Yazdi, président-directeur général		
Nord Quantique	2022/03/29	14
M. Philippe St-Jean, président-directeur général		
Xanadu Quantum Technologies Inc.	2022/03/29	14
Rafal Janik, chef des produits		
1QB Information Technologies Inc.	2022/04/01	15
Andrew Fursman, co-fondateur et président-directeur général		

Organismes et individus	Date	Réunion
À titre personnel	2022/04/01	15
Mme Anne Broadbent, professeure et titulaire de la Chaire de recherche de l'université en traitement de l'information et cryptographie quantiques Département des mathématiques et de statistique, Université d'Ottawa		
M. Edward McCauley, président et vice-chancelier, University of Calgary		
D-Wave Systems Inc.	2022/04/01	15
Allison Schwartz, vice-présidente Affaires publiques et relations gouvernementales mondiales		
Photonic Inc	2022/04/01	15
Mme Stephanie Simmons, fondatrice et directrice en chef de quantique		
À titre personnel	2022/04/05	16
M. Gilles Brassard, professeur titulaire Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal		
Mme Shohini Ghose, professeure Wilfrid Laurier University		
Mme Kimberley Hall, professeure de physique Département de physique et des sciences de l'atmosphère, Dalhousie University		
Association canadienne des radiologistes	2022/04/05	16
M. Jaron Chong, président Comité permanent sur l'intelligence artificielle		
PRIMA Québec	2022/04/05	16
Marie-Pierre Ippersiel, présidente-directrice générale		
Québec Quantique	2022/04/05	16
Olivier Gagnon-Gordillo, directeur exécutif		

ANNEXE B

LISTE DES MÉMOIRES

Ce qui suit est une liste alphabétique des organisations et des personnes qui ont présenté au Comité des mémoires reliés au présent rapport. Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez consulter la [page Web du Comité sur cette étude](#).

D-Wave Systems Inc.

IBM Canada

DEMANDE DE RÉPONSE DU GOUVERNEMENT

Conformément à l'article 109 du Règlement, le Comité demande au gouvernement de déposer une réponse globale au présent rapport.

Un exemplaire des *procès-verbaux* pertinents (réunions n^{os} 13 à 16 et 29) est déposé.

Respectueusement soumis,

Le président,
Joël Lightbound

