

Quantique



en tête

Regards sur les leviers stratégiques pour
un leadership québécois en quantique

PAR VOLUME10

Quantique

OCTOBRE
2025

en tête

Regards sur les leviers stratégiques pour
un leadership québécois en quantique

PAR VOLUME10

Les opinions, constats et conclusions ou recommandations exprimés dans le présent rapport sont uniquement ceux de VOLUME10 et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de Distriq et de ses partenaires, dont l'implication s'est limitée au financement du projet et à un rôle de comité conseil.

Table des matières

Note méthodologique	6	Partenaires du projet	8	Portraits	88	Feuille de route pour le développement du secteur au Québec	96
Le pari quantique du Québec	10	Glossaire	12	Annexes	110		
Fondamentaux du quantique et scénarios d'évolution	14	Positionnement du Québec à l'échelle mondiale	48	Personnes consultées Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM) du Québec			

Note méthodologique

Dans le cadre de cette étude, l'industrie quantique désigne l'ensemble des acteurs scientifiques, industriels, financiers et gouvernementaux qui contribuent au développement, à la structuration et à la mise en marché de technologies reposant sur les principes de la mécanique quantique. Elle cible avant tout les domaines du calcul, de la communication, de la détection et de la simulation, et inclut la recherche fondamentale, les plateformes technologiques, les infrastructures de fabrication, les entreprises spécialisées, les filières de formation et les instances de coordination.

L'analyse porte sur le positionnement du Québec à l'échelle nationale et internationale. Elle met en lumière les forces distinctives de l'écosystème (recherche, talents, infrastructures), les freins à la commercialisation, les exemples internationaux pertinents, et les leviers d'action disponibles pour les gouvernements, les universités, les centres de recherche, les entreprises et les investisseurs.

Les données mobilisées proviennent de sources croisées. Une revue des stratégies nationales dans une dizaine de juridictions (Amérique du Nord, Europe, Asie) a permis d'identifier les conditions gagnantes à l'international. Des diagnostics sectoriels ont été réalisés à partir de documents internes et de données publiques (recherche, formation, financement). Enfin, une trentaine d'entretiens semi-dirigés ont été menés auprès de chercheurs, entrepreneurs, gestionnaires publics, investisseurs et utilisateurs finaux.

Les constats et recommandations ont été développés en collaboration avec un comité de partenaires réunissant cinq ministères et agences publiques, la Ville de Sherbrooke, des chercheurs, des représentants de l'industrie et plusieurs acteurs clés de l'écosystème. Ce travail collaboratif a permis de valider les observations, d'ajuster les priorités et de faire émerger des pistes d'action réalistes et mobilisatrices.

Partenaires du projet

Le contenu de cet ouvrage s'appuie sur les travaux réalisés dans le cadre du mandat *Étude de positionnement de l'industrie quantique au Québec et plan d'actions gouvernemental*, octroyé par Distriq, Zone Innovation Quantique de Sherbrooke, avec la participation financière de huit partenaires engagés dans le développement de l'écosystème quantique au Québec :

Association de l'industrie
électrique du Québec (AIEQ)

Distriq, Zone Innovation
Quantique de Sherbrooke

Institut National d'Optique (INO)

Investissement Québec

Next Generation Manufacturing
Canada (NGen)

PINQ² – Plateforme d'Innovation
Numérique & Quantique

PRIMA Québec – Pôle de recherche et
d'innovation en matériaux avancés du Québec

Prompt

Ville de Sherbrooke

Cette étude n'aurait pu voir le jour sans l'expertise et l'engagement de nombreux contributeurs. La richesse des analyses présentées témoigne de la vitalité de l'écosystème quantique québécois et de la volonté collective de ses acteurs de faire rayonner cette filière d'avenir.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à Christian Sarra-Bournet, Directeur stratégie quantique – Université de Sherbrooke et Directeur exécutif – Institut quantique, qui a été notre guide de contenu tout au long de l'étude, ainsi qu'aux membres du comité de pilotage pour le temps qu'ils ont consacré au projet.

L'ensemble de ces organisations méritent notre reconnaissance pour leur confiance, leur collaboration et leur volonté commune de positionner le Québec comme un acteur stratégique du quantique à l'échelle mondiale.

Le pari quantique du Québec

Ceux et celles qui ont vu l'arrivée de l'internet dans les foyers, la montée fulgurante du mobile et des téléphones intelligents, ou plus récemment les percées spectaculaires de l'intelligence artificielle, savent combien une technologie peut, en quelques années, transformer nos vies, nos entreprises et nos sociétés. Ces révolutions ont créé des industries entières, redistribué la valeur économique mondiale et redéfini notre rapport au monde.

Aujourd'hui, nombreux sont ceux qui scrutent l'horizon à la recherche de la prochaine grande rupture. Parmi les candidats se trouve une science dont les fondements théoriques remontent à la première moitié du 20^e siècle, mais dont les applications industrielles commencent à peine à émerger : le quantique.

Le quantique ne représente pas une simple avancée technologique, mais une rupture profonde qui redéfinit notre capacité à comprendre, modéliser et maîtriser le monde physique. Cette révolution s'articule autour de trois piliers : le calcul quantique, qui promet une puissance de traitement exponentielle pour certains problèmes complexes, la communication quantique, qui ouvre la voie à des réseaux de transmission inviolables, et la détection quantique, qui permet de mesurer des phénomènes avec une précision remarquable.

L'impact économique potentiel est considérable. Cette industrie naissante transformera des secteurs aussi variés que la santé, l'énergie, la finance et la défense nationale. Les ordinateurs quantiques permettront d'avoir de nouveaux outils de simulation et d'optimisation, de prédire finement les propagations épidémiques, d'optimiser le trafic de manière systémique en temps réel, d'accélérer la découverte de nouveaux médicaments et matériaux, et de développer des solutions innovantes pour s'adapter et lutter contre les changements climatiques.

Certes, des obstacles fondamentaux se dressent encore sur le chemin du déploiement industriel. La correction d'erreurs, la stabilité des qubits, la mise à l'échelle des systèmes : autant de défis qui demandent patience, investissements massifs et tolérance au risque technologique.

Ce que nous pouvons affirmer d'ores et déjà, c'est que le Québec possède les atouts pour devenir l'un des pôles d'excellence mondiaux de cette révolution quantique. Fort d'un leadership scientifique reconnu, d'un écosystème de startups représentant plus du tiers des entreprises quantiques canadiennes, et d'infrastructures de recherche de calibre international, le Québec dispose d'une longueur d'avance précieuse.

Pour transformer cette promesse en réalité économique, nous devons surmonter nos défis historiques : notre difficulté à transformer l'excellence de nos laboratoires en succès commerciaux, notre propension à voir partir nos talents vers d'autres horizons, et notre réticence à prendre des risques technologiques audacieux et à accepter que certains de nos choix ne donneront rien. Cette tolérance à l'échec est essentielle à l'innovation de rupture.

Nous devons également accepter que le Québec ne peut réussir seul dans cette course mondiale. La masse financière et humaine requise dépasse nos capacités isolées, mais notre expertise nous positionne idéalement pour mener des alliances stratégiques internationales et façonner les standards mondiaux. Cela implique de prendre des risques stratégiques pour nouer des partenariats avec d'autres acteurs canadiens et internationaux, dans un contexte géopolitique en reconfiguration.

Comme pour l'intelligence artificielle, cette révolution s'accompagnera d'enjeux éthiques majeurs qu'il faudra anticiper.

La force de notre écosystème et la volonté des gouvernements du Québec et du Canada peuvent, si tous les acteurs travaillent ensemble et démontrent le courage de prendre des décisions stratégiques ambitieuses, nous propulser au premier rang de cette course mondiale. Plusieurs de ces décisions se révéleront infructueuses, mais c'est le prix de l'innovation de rupture.

Le quantique n'est pas une promesse lointaine : c'est une course déjà lancée, et le Québec a une longueur d'avance à consolider. L'enjeu ne se limite pas à devenir leader : c'est de ne pas se retrouver exclu d'une technologie que d'autres maîtriseront. Dans un monde où les technologies quantiques redéfiniront les avantages compétitifs, l'inaction pourrait condamner le Québec à une dépendance technologique durable. Investir maintenant, c'est miser sur un levier stratégique de souveraineté, de compétitivité et d'influence pour les décennies à venir.

VOLUME10 est fier de vous présenter cette étude de positionnement de l'industrie quantique, fruit d'un travail collaboratif de huit mois impliquant plus de cinquante experts de l'écosystème. Cette étude, réalisée grâce à la participation soutenue de Distriq et de ses partenaires, trace les contours d'une ambition collective : faire du quantique un levier de fierté, d'ambition et de prospérité pour le Québec.

– VOLUME10

Principes fondamentaux

Superposition

En mécanique quantique, une particule peut exister dans plusieurs états en même temps (position, énergie, polarisation).

Intrication

Deux particules intriquées sont liées : toute modification de l'une affecte instantanément l'autre, même à distance.

Cohérence

Capacité d'un système quantique (comme un qubit) à maintenir son état quantique superposé ou intriqué sans se faire perturber par son environnement.

Interférence

Phénomène par lequel plusieurs états quantiques superposés interagissent entre eux, s'additionnant ou s'annulant selon leurs phases. Fondamental en algorithmie quantique, cela permet d'amplifier certains résultats et d'en supprimer d'autres.

Composants et architecture

Qubit physique

Support physique d'information quantique, basé sur deux états superposables et intriqués.

Qubit logique

Unité d'information stable, construite à partir de qubits physiques avec correction d'erreurs.

Connectivité

Nombre de qubits pouvant interagir entre eux tout en maintenant la cohérence.

Algorithmes et calcul

NISQ (*Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer*)

Ordinateur à portes quantiques, bruité, sans correction d'erreurs, utilisant des algorithmes hybrides.

Avantage quantique

Avantage prouvé d'un ordinateur quantique sur un classique pour un problème spécifique.

Suprématie quantique

Capacité à résoudre un problème inaccessible aux ordinateurs classiques en temps raisonnable.

Correction d'erreur (*Error Correction*)

Technique visant à protéger et préserver l'information quantique face à la décohérence et au bruit quantique.

Atténuation d'erreur (*Error Mitigation*)

Méthodes pour réduire les erreurs sans correction complète (ex. extrapolation, suppression).

Fidélité / Taux d'erreur (*Fidelity / Error Rate*)

Mesure la précision d'un calcul quantique. Une fidélité de 99 % équivaut à 1 % d'erreur.

Calcul haute performance (HPC)

Utilisation de superordinateurs ou grappes de serveurs pour effectuer des calculs intensifs à très haute vitesse.

Cybersécurité

QKD (distribution de clés quantiques)

Méthode de chiffrement qui utilise les propriétés de la mécanique quantique pour échanger des clés de chiffrement de manière totalement sécurisée entre deux parties.

PQC (cryptographie post-quantique)

Regroupe les algorithmes cryptographiques résistants aux attaques des ordinateurs quantiques, mais qui fonctionnent sur des infrastructures informatiques classiques.

Applications et perspectives

Application industrielle

Invention pouvant être utilisée ou produite dans un cadre industriel (services, agriculture, etc.).

FTQC

(*Fault-Tolerant Quantum Computer*)

Ordinateur quantique universel avec correction d'erreurs, capable d'exécuter des algorithmes complexes

VLSQC

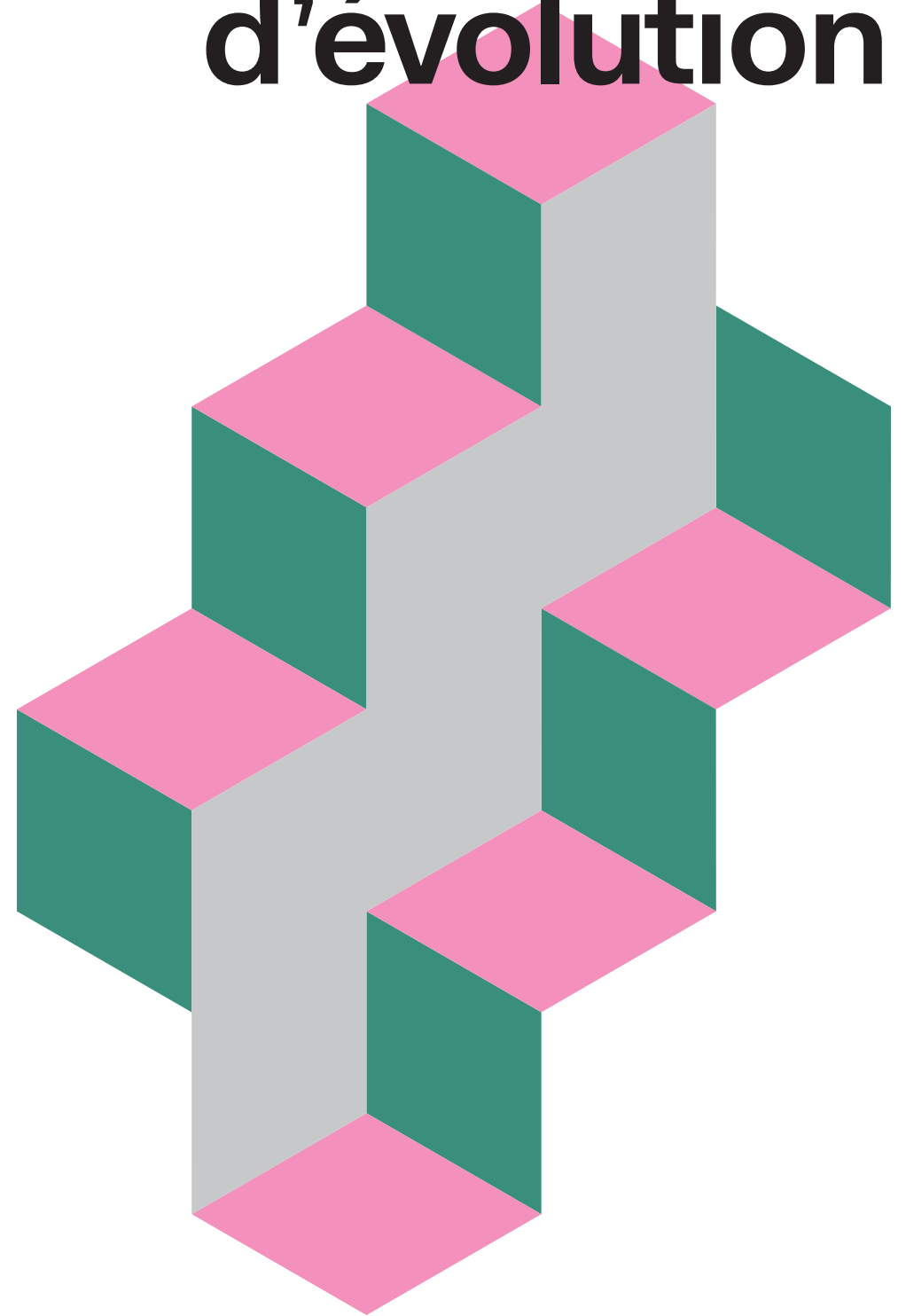
(*Very Large Scale Quantum Computer*)

Ordinateur FTQC avec milliers de qubits logiques, permettant les algorithmes utiles pour applications industrielles.

Fondamentaux du quantique



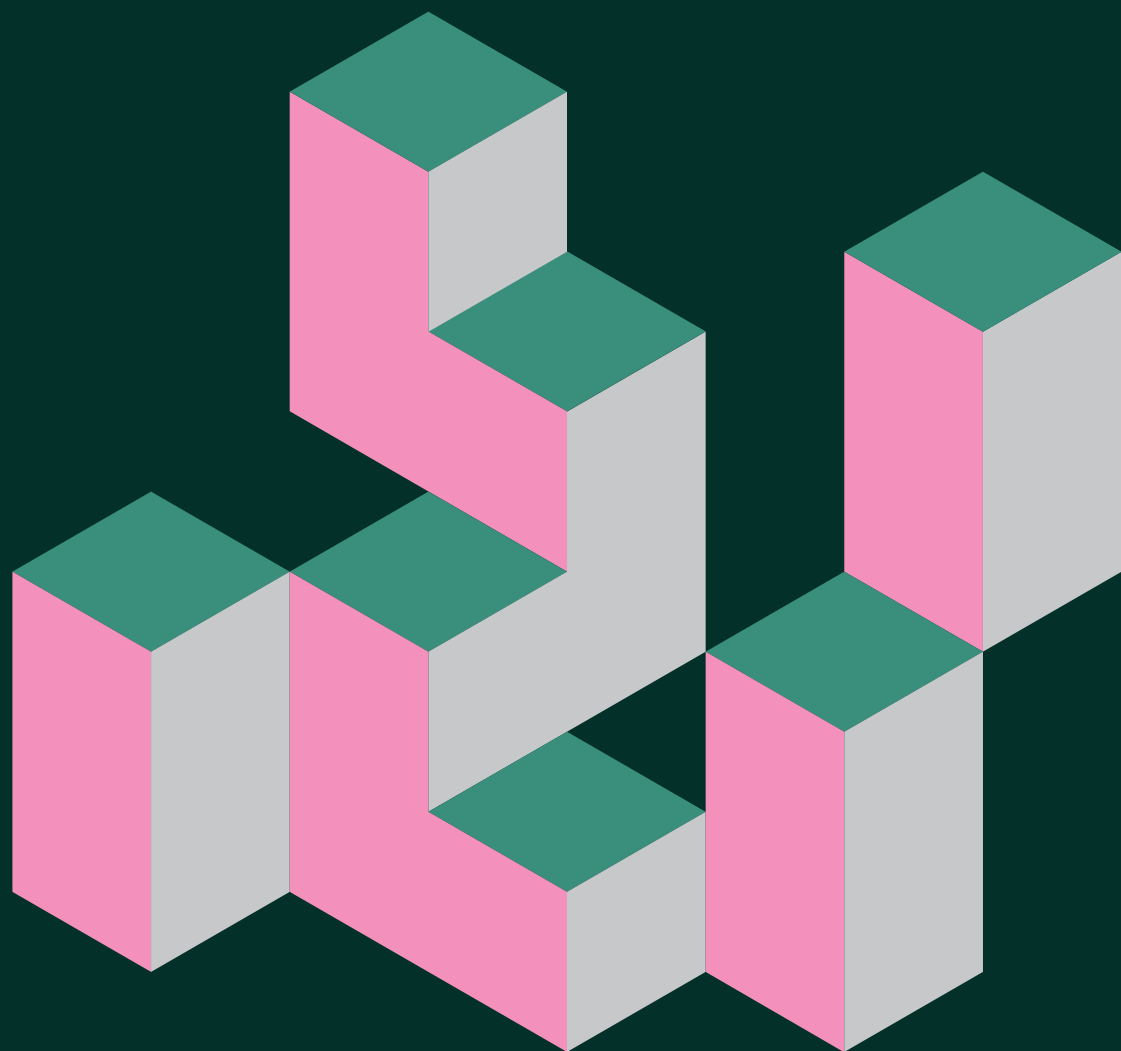
et scénarios d'évolution





Conférence Solvay de 1927, Bruxelles
Réunissant les plus grands esprits de la physique du 20^e siècle, cette conférence marque un tournant dans l'histoire du quantique. On y retrouve Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, Pauli et d'autres pionniers, réunis pour débattre des fondements de la mécanique quantique.

Photo de Science & Society Picture Library
via Getty Images



La physique quantique décrit le comportement de la matière et de l'énergie à des échelles où les lois classiques ne suffisent plus à rendre compte des phénomènes observés.

Elle s'appuie sur des concepts comme la superposition, l'intrication et l'interférence pour modéliser des états multiples et des dynamiques probabilistes.

Cette compréhension fine de l'infiniment petit a déjà permis des avancées majeures. Plusieurs sont intégrées aux technologies du quotidien, comme les lasers, le GPS, les dispositifs d'imagerie médicale ou les unités de traitement graphique.

Elle constitue aujourd'hui le socle de développement d'un ensemble de technologies émergentes, regroupées sous le nom de secteur quantique. Ces technologies renouvellent les capacités d'observation, de calcul, de transmission et de mesure dans des contextes à forte complexité.

Le secteur quantique englobe l'ensemble des technologies qui mobilisent ces principes fondamentaux dans des dispositifs concrets. Il comprend notamment le calcul quantique, incarné par l'ordinateur quantique, qui mobilise des qubits capables de représenter plusieurs états simultanément. Cette approche vise à simuler des systèmes complexes ou à résoudre certains problèmes d'optimisation aujourd'hui hors de portée.

Le développement de ces machines repose sur la capacité à stabiliser des qubits logiques. Ceux-ci sont construits à partir de qubits physiques bruités et corrigent activement les erreurs liées à la décohérence. À ce jour, seuls quelques prototypes ont démontré cette capacité, mais les progrès s'accélèrent.

Le secteur englobe également la communication quantique, qui vise à transmettre de l'information de manière intrinsèquement sécurisée.

Il inclut aussi la détection quantique, qui améliore la sensibilité de mesure dans des domaines allant de l'imagerie médicale à la navigation inertielle.

Ces trois axes évoluent à différentes vitesses, mais partagent une même exigence : maîtriser le comportement quantique de la matière pour ouvrir de nouvelles possibilités technologiques.

Malgré les limites actuelles liées à la stabilité des systèmes, au coût des infrastructures et à la maturité inégale des applications, le secteur progresse rapidement. Les feuilles de route industrielles se précisent, les investissements se multiplient, et plusieurs cas d'usage commencent à faire l'objet de démonstrateurs à échelle réduite.

Le quantique s'inscrit ainsi dans un cycle d'innovation long. Les avancées scientifiques, la mise en place d'écosystèmes spécialisés et l'engagement stratégique des acteurs publics et privés y joueront un rôle déterminant.

Plus qu'un simple prolongement des technologies existantes, le quantique propose une nouvelle façon de représenter, d'explorer et d'agir sur le monde physique. C'est dans cette capacité à renouveler les outils de compréhension et d'intervention que réside son potentiel structurant.

La physique quantique, étudiée depuis plus d'un siècle, a déjà donné naissance à des technologies courantes et alimente aujourd'hui une vague d'innovations radicales.

Les bases théoriques de la physique quantique ont été posées au début du 20^e siècle, avec la découverte que la lumière et la matière pouvaient se comporter à la fois comme des ondes et comme des particules. Ces travaux ont mené, dans la seconde moitié du siècle, au développement de dispositifs concrets exploitant ces propriétés, comme les lasers, les transistors ou l'imagerie médicale. On parle alors de première révolution quantique : les effets sont maîtrisés à grande échelle, sans manipulation directe de l'information quantique.

La seconde révolution débute dans les années 1990, avec la possibilité d'agir sur des systèmes quantiques individuels. L'algorithme de Shor marque un tournant en montrant que certaines tâches, comme la factorisation de grands nombres, pourraient un jour être résolues bien plus rapidement par des machines quantiques. Depuis, des entreprises ont commencé à développer activement des dispositifs expérimentaux, dont plusieurs proviennent du Canada.

(1900-1930) Bases théoriques de la révolution quantique Quelques découvertes clés		
(1913)	Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, de Broglie	La lumière se comporte à la fois comme une onde et une particule.
(1926)	Schrodinger	La position d'un électron évolue dans le temps selon une équation d'onde.
(1936)	Turing (cadre universel du calcul)	L'exécution d'opérations peut s'effectuer par un modèle mathématique les décomposant en étapes simples réalisables par une machine.

En 2025, le test de Turing reste une référence pour évaluer si une machine peut sembler aussi intelligente qu'un humain. Certaines études – encore non validées – suggèrent que des modèles comme ChatGPT l'auraient franchi.

(1930-1980)

Première révolution quantique

Développement de technologies fondées sur la manipulation de groupes de particules quantiques

Ex. : fission atomique, disques durs, transistors, lasers, fibres optiques, GPS, imagerie médicale, photographie numérique, etc.

En 2025, la majorité des technologies du quotidien reposent sur des principes issus de la physique quantique.

(1980 à aujourd'hui)

Seconde révolution quantique

(1990)

Algorithme de Shor, déclencheur d'un intérêt généralisé pour le quantique

Cet algorithme permet de factoriser de grands nombres, remettant en cause la sécurité des systèmes cryptographiques classiques.

La majorité des systèmes de cybersécurité reposent sur le chiffrement RSA. Les ordinateurs quantiques pourraient un jour résoudre les calculs qui le protègent – c'est le « Q-Day ». L'échéancier reste flou, mais l'inquiétude monte, avec des niveaux de vigilance variables selon les pays et les secteurs.

(2011-2012)

Deux entreprises canadiennes ont joué un rôle pionnier : D-Wave, à l'origine du premier quantum annealer commercialisé, et 1QBit, première entreprise dédiée aux logiciels quantiques.

(2014-2025)

Début de l'implication et de la prise de position des grands groupes technologiques américains, marqué par un fort battage médiatique

IBM

IBM Q System One (2019)

Google

Suprémie quantique (2019)
Plateforme Willow (2024)

Microsoft

Processeur quantique Majorana 1 (2025)

W. Hurley, L'informatique quantique pour les nuls ; M. Kaku, Quantum Supremacy ; B. Clegg, Physique quantique en 30 secondes ; Cornell University ; The Wall Street Journal ; recherches, analyses et entrevues VOLUME10

21

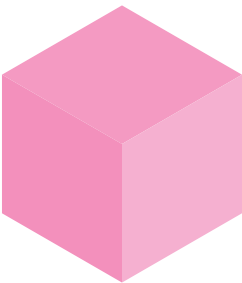
Le développement du quantique fait face à des limites scientifiques, techniques et économiques, mais l'histoire montre que les technologies de rupture finissent par franchir le cap vers la maturité.

Le développement du quantique progresse à un rythme soutenu, malgré des limites encore importantes liées à la stabilité des systèmes, à la correction d'erreurs et à la maturité des cas d'usage. Les signaux de consolidation se multiplient : amélioration continue dans la fabrication des qubits, montée en puissance des plateformes matérielles et émergence d'outils logiciels spécialisés. Même si les applications à grande échelle restent rares, l'attention des investisseurs, des gouvernements et des grandes entreprises technologiques demeure forte.

À moyen terme, l'apparition de premiers avantages quantiques exploitables dans des contextes ciblés pourrait jouer un rôle déclencheur. De tels jalons accéléreraient les efforts d'industrialisation et structureraient de nouveaux segments de marché. Plusieurs experts s'accordent à dire que le quantique ne bouleversera pas immédiatement les usages quotidiens, mais qu'il agira comme catalyseur pour d'autres technologies de rupture.

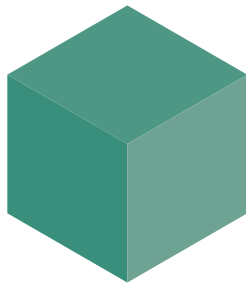
Les domaines de l'optimisation, de la simulation avancée, de la cybersécurité et des matériaux pourraient être les premiers à en bénéficier. Cette trajectoire appelle une posture à la fois réaliste et patiente, mais aussi résolument proactive, afin de bâtir dès aujourd'hui les bases d'un écosystème capable de capter pleinement les retombées futures.

Aujourd'hui, le développement du quantique est limité par des défis complexes...



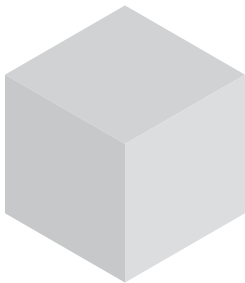
Défis scientifiques

- L'instabilité des qubits
- La correction d'erreurs encore au stade expérimental
- Immaturité des algorithmes quantiques



Défis techniques

- Mise à l'échelle (nombre de qubits, cryogénie, électronique de contrôle)
- La fabrication des dispositifs difficilement reproductibles (peu de standards existants)
- L'intégration hardware-software



Défis économiques

- Les cas d'usage industriels rares et peu démontrés
- Les coûts élevés des infrastructures
- Le manque de capital patient
- La difficulté d'accès à une main-d'œuvre qualifiée

... mais l'histoire montre notre capacité à adopter des technologies tôt ou tard.

Estimation des délais de maturation technologique du concept théorique à la commercialisation à grande échelle



Ordinateurs classiques

~45 ans
(Turing → Premier PC d'IBM)



Télécommunications

~120 ans
(Maxwell → Premier réseau cellulaire commercial d'AT&T)



Intelligence artificielle

~65 ans
(Turing → AlexNet)

Le quantique est le plus souvent présenté à travers l'ordinateur quantique, symbole le plus reconnu du domaine.

Souvent présenté comme l'application phare du quantique, l'ordinateur quantique repose sur la manipulation de qubits, capables d'exister simultanément dans plusieurs états. Cette propriété ouvre la voie, en théorie, à des calculs plus efficaces que ceux des ordinateurs classiques, notamment pour la simulation de systèmes complexes ou l'optimisation combinatoire.

Les machines actuelles restent limitées par le bruit, la courte durée de cohérence et l'absence de correction d'erreurs. Les efforts se concentrent sur la création de qubits logiques, plus stables et tolérants aux fautes.

L'objectif à long terme est de concevoir des ordinateurs quantiques à grande échelle, capables d'exécuter des algorithmes utiles dans des contextes industriels ciblés.

Les ordinateurs quantiques ne sont pas destinés à remplacer les ordinateurs classiques : ils seront utilisés conjointement, dans des contextes différents

Par exemple, pour résoudre un problème très complexe, l'ordinateur quantique peut réduire l'éventail de réponses possibles, puis laisser l'ordinateur classique trouver la réponse finale.

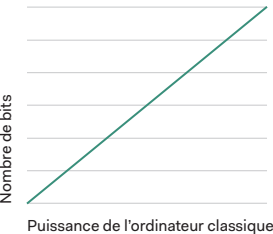
Éléments distinctifs entre les ordinateurs classiques et quantiques

Ordinateurs classiques

- Unité de communication : bit
- Les bits peuvent uniquement se présenter sous deux formats, que l'on nomme 0 et 1

0 • • 1

La puissance de calcul d'un **ordinateur standard** est proportionnelle à son nombre de bits : plus le nombre de bits est élevé, plus la puissance est grande.



Technologie mature, avec un taux d'erreur faible

Rentable, coûts limités

Peut opérer à température pièce

Efficace pour des opérations informatiques générales (courriels, traitement de texte, graphisme, navigation web)

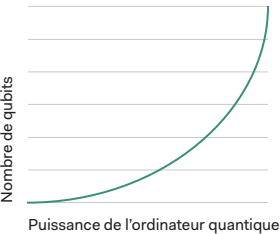
Très lent pour traiter de grandes bases de données complexes et désorganisées

Ordinateurs quantiques

- Unité de communication : qubit
- Les qubits peuvent prendre les formes 0 et 1 en même temps, en tout temps.

0 • 1

La puissance de calcul d'un **ordinateur quantique** croît de façon exponentielle avec leur nombre : plus le nombre de qubits est élevé, plus l'effet multiplicateur sur la puissance est important.



Technologie émergente avec un taux d'erreur encore élevé

Très coûteux

Nécessite des conditions précises de pression et de température pour fonctionner

Peu efficace et lent pour les opérations simples

Beaucoup plus rapide pour les problèmes non structurés qui nécessitent une analyse en profondeur d'une très grande quantité de scénarios

Cinq grandes technologies de qubits sont développées simultanément: supraconducteurs, ions piégés, photons, atomes neutres et spins électroniques.

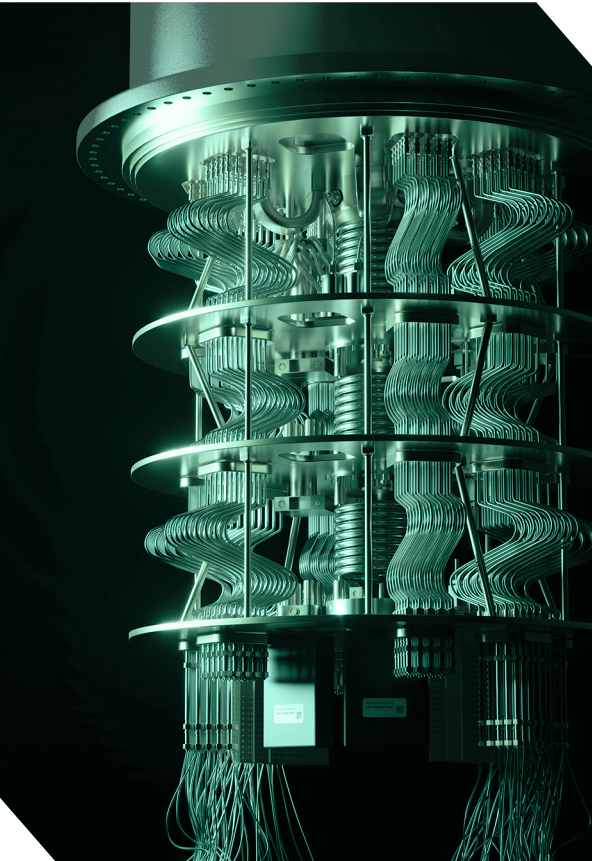


Photo : Planet Volumes

Chacune se positionne comme concurrente dans la quête d'un ordinateur quantique universel et évolutif, créant une dynamique de compétition constructive. Toutefois, on anticipe que les plateformes ne s'excluront pas mutuellement: le futur du calcul quantique pourrait reposer sur une approche multiplateforme, où différents types de qubits sont combinés selon les cas d'usage.

Type (Montant in \$ US investis, mars 2025)	Description	Exemples de joueurs
Supraconducteurs incluant les transmons 2 372 M\$	Différence d'énergie entre deux états d'une paire de Cooper dans une jonction Josephson.	IBM, Google, Rigetti, OQC
Ions piégés 1 623 M\$	Niveaux d'énergie internes d'ions piégés par des champs électromagnétiques.	IonQ, Quantinuum, Alpine Quantum
Photoniques 1 362 M\$	Occupation de modes dans un réseau de guides d'ondes photoniques.	PsiQuantum, Xanadu, INRS
Qubits de spin 293 M\$	Spins d'électrons piégés dans un matériau (ex. : point quantique en silicium), manipulés par laser ou micro-ondes.	Intel, Quantum Motion, Delft University
Atomes neutres 145 M\$	Niveaux d'énergie internes d'atomes neutres piégés par des champs laser.	Pasqal, QuEra, ColdQuanta
Topologiques N.D.	Utilisation d'états non locaux d'excitations topologiques, théoriquement résistants aux erreurs.	Microsoft (en R-D), StationQ

Au-delà de l'ordinateur quantique, les technologies quantiques couvrent un champ bien plus vaste.

Les trois familles technologiques du quantique

 Calcul quantique

Constitue un nouveau paradigme informatique fondé sur les lois de la mécanique quantique

 Communication quantique

Permet la transmission d'informations quantiques tout en conservant leur état quantique, ouvrant la voie à des protocoles de communication sécurisés

 Détection quantique

Permet de capter des variations infimes dans des systèmes physiques et dans leur environnement, en s'appuyant sur les propriétés quantiques de la matière

Détails

Permet d'envisager des **gains de performance significatifs pour certains types de problèmes**.

A le potentiel de **modéliser des systèmes complexes** – matériaux, réactions chimiques, portefeuilles financiers, protéines – avec une précision rehaussée, afin d'en approfondir la compréhension.

Réseaux de communication quantique
Désigne le transfert d'information quantique entre des dispositifs quantiques, tels que des ordinateurs ou des capteurs, de manière sécurisée et cohérente.

Cybersécurité
Distribution quantique de clés (QKD) : utilise des réseaux quantiques pour transmettre des clés inviolables.

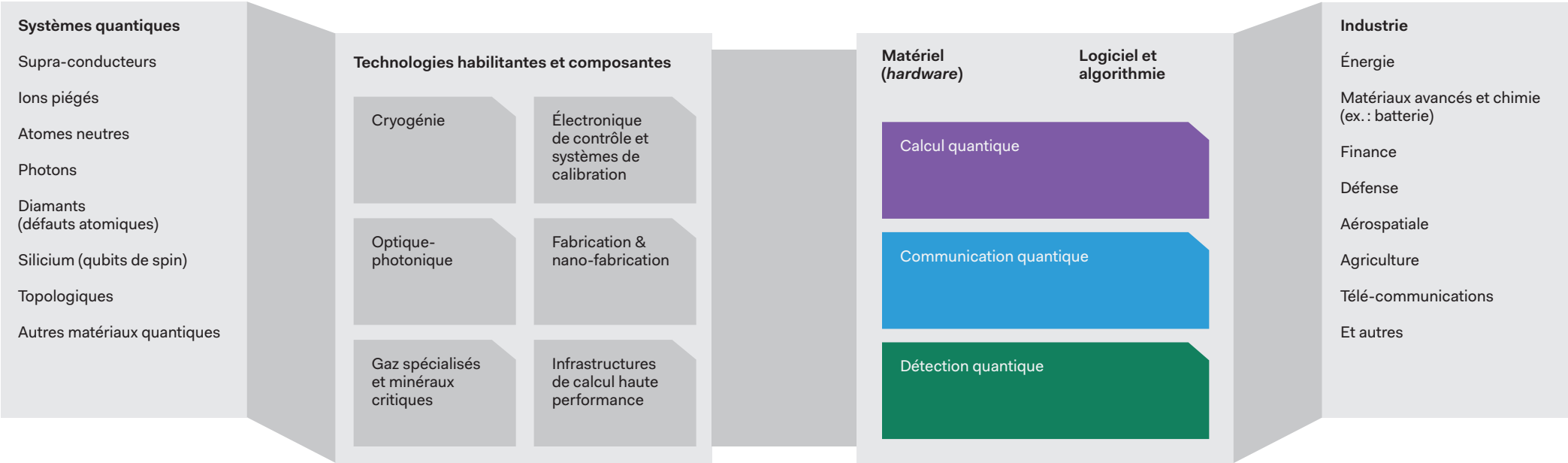
Cryptographie post-quantique : adapte les algorithmes **classiques** pour résister aux attaques quantiques, sans recourir à des technologies quantiques.

Permet de mesurer avec une précision extrême des phénomènes comme les champs magnétiques, la gravité ou le temps, en exploitant des effets, tels que l'intrication ou la superposition.

Cas d'usage potentiel

- Optimisation en temps réel des réseaux de distribution et de stockage d'énergie
- Conception de catalyseurs permettant de décarboner la production d'engrais
- Renforcement de la sécurité des communications dans le secteur financier ou pour les infrastructures critiques de l'État (ex. : barrages hydroélectriques)
- Mise à l'échelle des ordinateurs quantique afin d'augmenter la capacité de calcul (centres de données communicants)
- Magnétomètre quantique permettent notamment la détection d'objet métallique à grande distance
- Gravitomètre permettant la cartographie des structures enfouies (cavités, nappes phréatiques, etc.)

Le développement du quantique repose sur une chaîne de valeur complète, qui se déploie autour de technologies habilitantes, de composantes spécialisées et d'infrastructures adaptées.



Bon à savoir : technologies habilitantes

Le développement des technologies quantiques mobilise des savoir-faire et des infrastructures qui dépassent le seul champ du quantique. Cryogénie, photonique, fabrication avancée et calcul haute performance : ces technologies dites habilitantes se trouvent au croisement de plusieurs chaînes de valeur stratégiques. Leur renforcement soutient non seulement l'émergence d'une capacité quantique nationale, mais consolide aussi des secteurs comme la microélectronique, l'intelligence artificielle, la santé ou l'énergie.

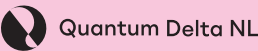
Cette interdépendance appelle une lecture transversale des investissements. Les choix technologiques faits pour le quantique peuvent structurer des écosystèmes plus larges et générer des effets d'entraînement durables.

	Utilité de certaines technologies habilitantes pour le quantique	Autres secteurs utilisant ces technologies
Cryogénie	Permet les conditions de base pour la stabilité des qubits	- Énergie (ex. : gaz naturel liquéfié GNL) - Santé/médical (IRM) - Aérospatiale (propulsion ; stockage de carburant)
Optique-photonique	Clé pour la mise à l'échelle des réseaux quantiques, la réduction des pertes et la miniaturisation des composants	- Intelligence artificielle - Santé/médical (imagerie) - Défense
Fabrication et nano-fabrication	La performance des qubits dépend directement de la structuration et de la pureté des matériaux (défauts = décohérence)	- Microélectronique - Circuits intégrés - Biocapteurs/ capteurs embarqués
Gaz spécialisés et minéraux critiques	Pour certains procédés de fabrication quantique, par exemple, la fabrication de qubits, le dépôt de couches minces, etc.	- Semi-conducteurs - Défense - Énergie
Infrastructure de calcul haute-performance	Pour simuler, corriger et assurer l'interface des systèmes hybrides (quantique-classique)	- Traitement de données/ IA - Finance - Climatologie

Étude de cas : Pays-Bas

Créé grâce à un investissement gouvernemental de 615 M€, Quantum Delta NL est l'organisme chargé de déployer la stratégie quantique des Pays-Bas. Elle fait de la fabrication une priorité pour générer de la valeur économique et structurer l'écosystème.

Les technologies habilitantes sont **co-développées et testées** avec les startups et usagers finaux, en misant sur une **chaîne de valeur locale, agile et arrimée aux besoins industriels**.



Étude de cas : Finlande

Bluefors illustre comment miser sur un maillon spécifique de la chaîne de valeur quantique peut générer une forte valeur économique. En se concentrant sur la cryogénie, technologie habilitante essentielle, l'entreprise finlandaise est devenue un fournisseur stratégique mondial, avec plus de 1 250 réfrigérateurs à dilution vendus et des revenus de 200 M€.

Ce positionnement ciblé lui a permis d'**industrialiser une expertise de niche** tout en répondant à un besoin transversal de l'écosystème.



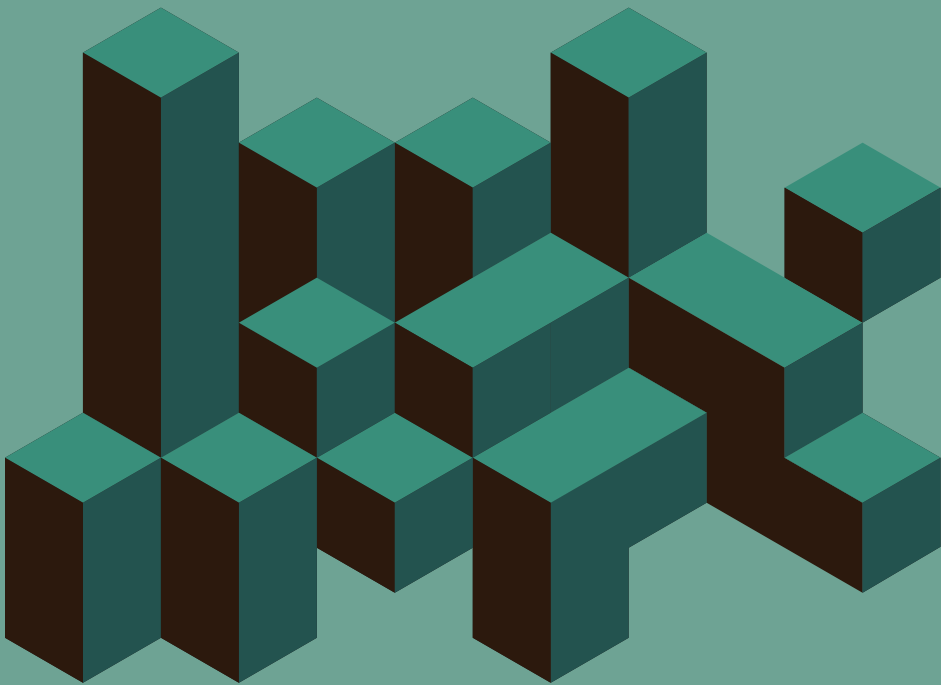
Bon à savoir : intelligence artificielle

L'intelligence artificielle et le quantique suivent des trajectoires technologiques distinctes, mais leur croisement progressif attire un intérêt croissant. L'IA s'appuie sur la capacité à traiter de grandes quantités de données et à en extraire des régularités utiles à la modélisation ou à la décision. Le quantique, lui, explore des espaces de solutions difficilement accessibles aux approches classiques, notamment en simulation moléculaire, en optimisation combinatoire ou en cryptographie. Ensemble, ils ouvrent des pistes d'application ciblées, par exemple en médecine de précision, en gestion de chaînes d'approvisionnement ou dans certains systèmes énergétiques.

Cette complémentarité reste aujourd'hui largement exploratoire. Les architectures quantiques actuelles ne permettent pas l'entraînement de modèles d'IA à grande échelle, mais pourraient offrir un avantage pour des structures de données complexes et peu volumineuses. Parallèlement, l'IA est déjà mise à profit pour améliorer la performance des dispositifs quantiques, en particulier pour la calibration, la stabilisation et le pilotage expérimental.

Il ne s'agit donc pas d'une convergence immédiate, mais plutôt d'un espace de coévolution technologique. À terme, l'articulation entre ces deux champs pourrait contribuer à bâtir de nouvelles capacités de calcul, accélérer certaines phases de découverte et faire émerger des usages différenciés dans des secteurs stratégiques.

Nuances	Intelligence artificielle	Technologies quantiques
Nature de la technologie	Algorithmes exécutés sur des ordinateurs classiques	Technologies matérielles et physiques en plus de logicielles
Base théorique	Statistiques, probabilités et mathématiques appliquées	Physique fondamentale, mécanique quantique, algèbre linéaire
Hardware de calcul	Dépend du HPC classique pour l'entraînement	Nécessite un hardware spécialisé (qubits, systèmes de contrôle, etc.)
Applications	Davantage d'applications commercialisables	Surtout émergent et expérimental



Mythe

Le quantique va résoudre les limites de l'IA face au big data.

L'IA et l'informatique quantique sont directement compatibles et facilement combinables.

L'IA remplacera le besoin du quantique en optimisant les mêmes problèmes plus efficacement.

Réalité

Le quantique est peu adapté aux très grands ensembles de données. Il est plus utile pour traiter de petits volumes avec des structures complexes difficiles à modéliser classiquement.

Les ordinateurs quantiques actuels ne permettent pas d'entraîner des modèles d'IA à grande échelle. L'IA quantique en est au stade exploratoire, sans avantage démontré sur les approches classiques.

Certains problèmes, comme l'optimisation combinatoire ou la simulation de systèmes quantiques, sont structurellement difficiles pour l'IA classique. Le quantique ouvre des pistes que l'IA seule ne peut explorer.

Aujourd'hui, le secteur suit une trajectoire encore incertaine, mais pourrait représenter la prochaine grande avancée technologique, même si son calendrier demeure difficile à prévoir.

Le calcul quantique est aujourd'hui dans une phase exploratoire, connue sous le nom d'ère « NISQ » (*Noisy Intermediate-Scale Quantum*). Les machines actuelles, encore instables, servent surtout à tester les architectures et à évaluer la portée de certains cas d'usage. Cette étape ne produit pas encore d'applications immédiates, mais elle est largement considérée comme une transition vers des machines tolérantes aux fautes.

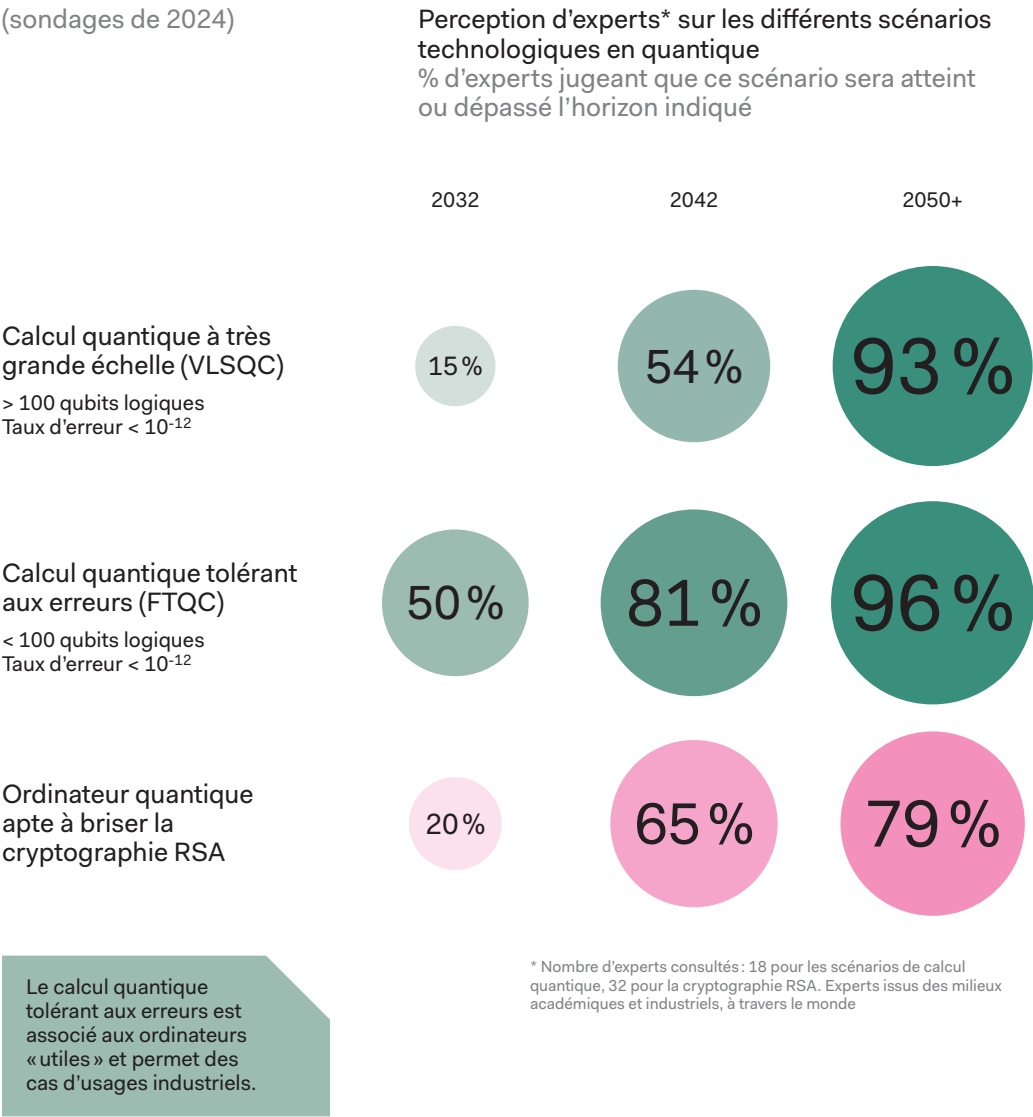
L'horizon d'un calcul quantique pleinement fiable demeure incertain, même si les avancées récentes laissent penser que cette bascule pourrait survenir plus vite que prévu. Dans ce contexte, l'enjeu n'est pas tant de prédire l'échéance que de rester prêt à agir : suivre les évolutions du secteur, consolider les compétences et maintenir les conditions d'une mobilisation rapide lorsque les technologies atteindront leur maturité.

Bon à savoir : Aujourd'hui, les qubits sont encore très sensibles à leur environnement (température, vibrations, champs électromagnétiques...). Ces perturbations, appelées bruit, déstabilisent les qubits et provoquent des erreurs dans les calculs. Tant qu'on ne maîtrise pas totalement ce bruit, les résultats doivent être corrigés ou interprétés avec prudence.

Plusieurs experts ont été surpris par l'accélération récente du quantique



Dans une entrevue accordée à *Sciences et Avenir*, Alain Aspect, prix Nobel de physique 2022, répond à la question : « Lorsque vous avez mené vos travaux il y a quelques décennies, vous imaginiez-vous que cela mènerait à tout ça ? » – « Absolument pas. »



50 % des interviewés prédisent déjà l'arrivée du FTQC en 2032

Le calcul quantique tolérant aux erreurs permettra d'exécuter des algorithmes complexes de manière fiable, permettant notamment de révolutionner la simulation de molécules pour la découverte de médicaments, la conception de matériaux, l'optimisation de portefeuilles financiers ou la gestion intelligente des réseaux énergétiques.

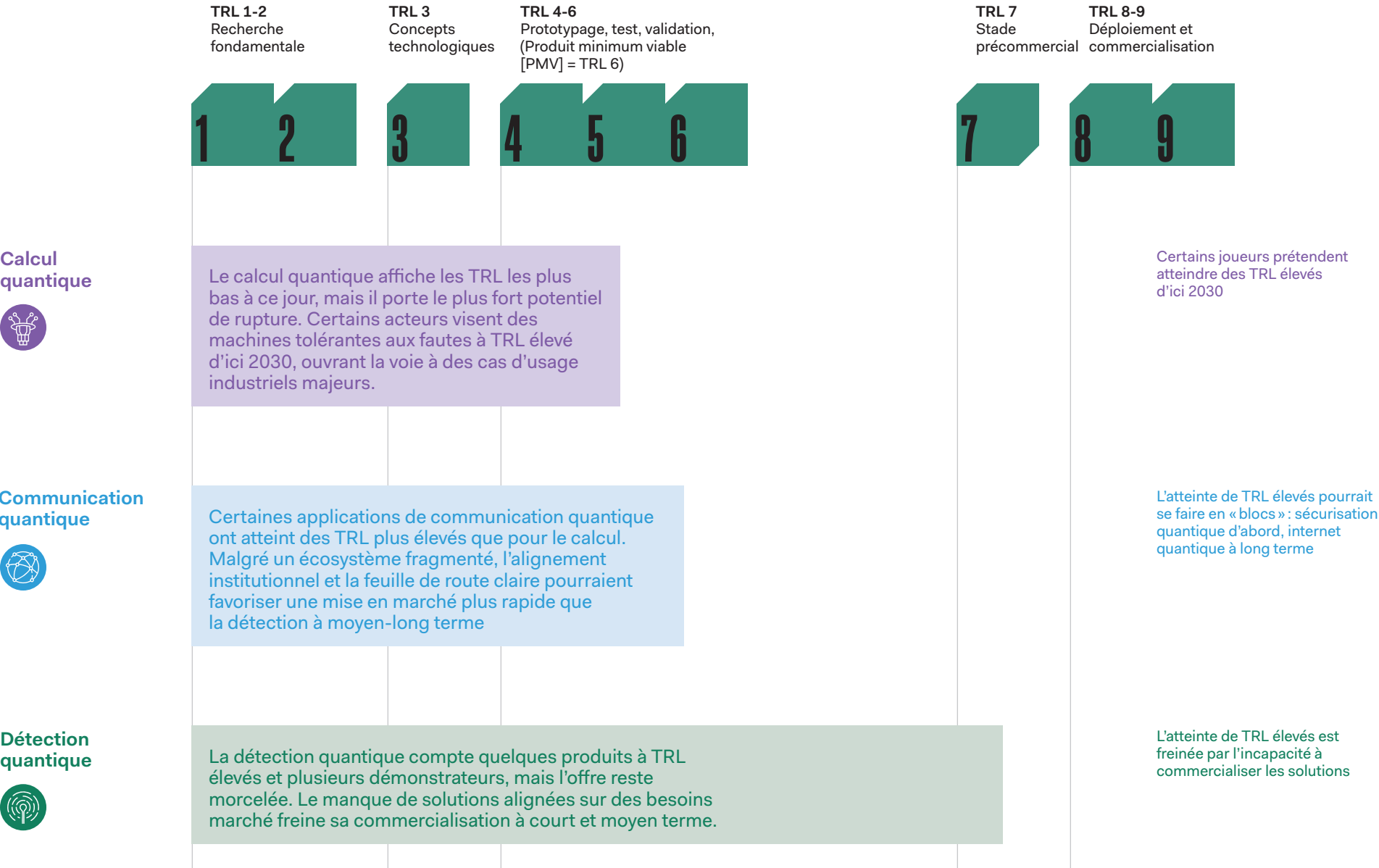
65 % pensent qu'un ordinateur pourra « casser » le RSA dès 2042

Les modes d'encryption modernes reposent en grande partie sur RSA, un système asymétrique où une clé publique chiffre les données et une clé privée les déchiffre. Sa sécurité repose sur la difficulté, pour un ordinateur classique, de factoriser un grand nombre. Un ordinateur quantique pourrait contourner cette limite en utilisant l'algorithme de Shor.

Exemple : lors d'un achat en ligne, les données sont chiffrées avec la clé publique du site et ne peuvent être lues qu'avec sa clé privée

Calcul, communication et détection évolueront à des rythmes différents, avec des niveaux d'imprévisibilité inégaux.

Niveau de maturité technologique, ou *Technology Readiness Level (TRL)*

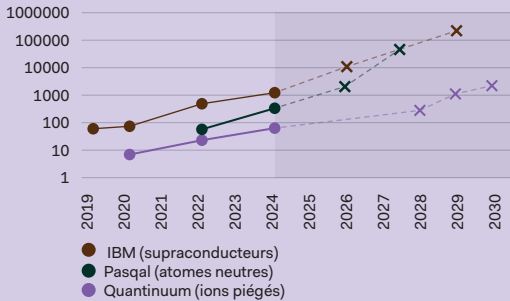


Note
Chaque année, les principaux acteurs du quantique ajustent leur feuille de route vers le calcul tolérant aux fautes et publient de nouvelles annonces. Ces déclarations traduisent souvent des progrès réels, mais elles peuvent aussi servir à capter l'attention du marché ou à entretenir une dynamique médiatique. Il importe de les lire avec discernement, en distinguant les démonstrateurs reproductibles des effets d'annonce destinés à générer du signal.

Pour le calcul quantique, distinguer le battage médiatique de l'état réel et maintenir une veille active sur les feuilles de route industrielles est essentiel.

(2019-2030) Évolution passée et projetée du nombre de qubits physiques (non corrigés) pour trois joueurs

Depuis 2019, le nombre de qubits physiques double tous les 12 à 24 mois, mais seuls quelques acteurs atteignent aujourd'hui le seuil d'un **qubit logique**, reflet de la capacité réelle de calcul avec correction d'erreurs.



Capacité projetée en qubits logiques (qubits corrigés)

Certains joueurs évaluent toutefois être en mesure d'atteindre un nombre considérable de **qubits logiques** d'ici 5 ans, rendant possible de potentiels cas d'usage.



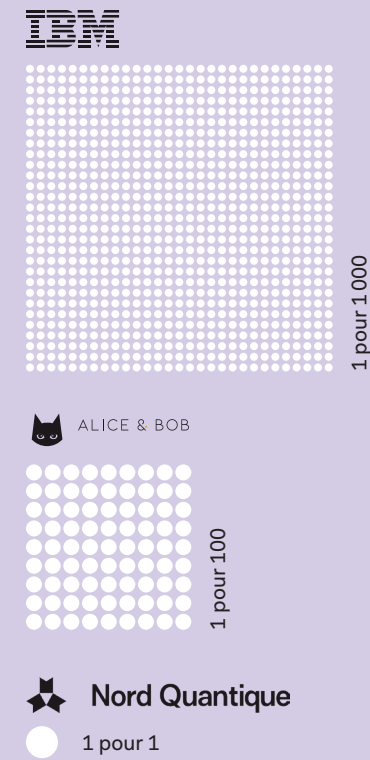
How IBM will build the world's first large-scale, fault-tolerant quantum computer

Nombre de qubits logiques projetés : 2028-2029			
Superconductors	IBM	États-Unis	200
	Alice & Bob	France	100
	Nord Quantique	Canada	100
Neutral atoms	Pasqal	France	128
Photons	Quandela	France	50
Trapped ions	IONQ	États-Unis	1600

Rappel

Un **qubit physique** est l'unité de base manipulée dans un ordinateur quantique réel, mais il est très sensible au bruit et aux erreurs. Pour qu'un calcul soit fiable, on regroupe plusieurs **qubits physiques** pour former un **qubit logique**. Ce qubit logique corrige en continu les erreurs des qubits physiques qui le composent, ce qui permet d'exécuter des algorithmes complexes sans perdre l'information. En pratique, un seul **qubit logique** peut nécessiter plusieurs dizaines, voire centaines de **qubits physiques**. C'est cette structure qui rend possible le calcul quantique tolérant aux fautes.

Étude de cas



Nord Quantique développe une approche unique au monde : la correction d'erreurs est intégrée directement dans chaque qubit physique. Dans les architectures traditionnelles, il faut des dizaines de qubits physiques pour créer un qubit logique. L'approche de Nord Quantique permet un ratio 1:1. Grâce à un code bosonique multimode, chaque qubit corrige ses propres erreurs, ce qui réduit drastiquement les besoins matériels et ouvre la voie à des machines plus compactes, plus rapides et plus efficaces.

Les investissements en quantique se multiplient, autant pour le calcul, la communication que la détection, surtout dans les secteurs où les cycles de planification s’étendent sur le long terme.

- Calcul
- Communication
- Détection

Secteur	Exemple de cas d'usage potentiel (Non exhaustif)		Exemples de joueurs actifs
Aérospatiale et navigation avancée	Navigation inertielle de haute précision sans GPS, grâce à des capteurs quantiques.		
Agriculture	Optimisation des intrants (eau, engrais, pesticides) via des algorithmes quantiques de simulation de sol et de croissance des cultures.		
Chimie et matériaux	Simulation de matériaux complexes pour concevoir des batteries plus performantes.		
Défense	Détection gravitationnelle ou de champ magnétique pour repérer des sous-marins ou des tunnels.		
Énergie et infrastructures critiques	Modélisation pour prévoir l'évolution de microfissures dans les barrages hydroélectriques et optimiser les stratégies de maintenance à long terme.		
Finance, assurance et risque	Sécurisation des communications bancaires via la distribution quantique de clés (QKD), à l'épreuve des futurs ordinateurs quantiques.		
Mobilité, transport et logistique	Résolution de problèmes complexes d'ordonnancement et de routage.		

K. Groenland, *Introduction to Quantum Computing for Business*, M. Kaku, *Quantum Supremacy: How the Quantum Computer Revolution Will Change Everything*, CEA/Y.Spot, Futuribles, HPCwire, Investors.com, Annonces publiques des joueurs; recherches, analyses et entrevues VOLUME10

Le secteur quantique connaît une progression rapide et offre une opportunité majeure, à la fois technologique et économique, avec un marché estimé entre 70 et 173 G\$ US d'ici 2040.

Estimation de la taille du marché global des technologies quantiques d'ici 2040* (montants en \$ US)

 **Calcul quantique**
~88 G\$

 **Communication quantique**
~30 G\$

 **Détection quantique**
~3,5 G\$

Aperçu des secteurs du calcul, de la communication et de la détection quantique* décembre (2023) (montants en \$ US)

6,7 G\$ investis
261 startups

1,2 G\$ investis
96 startups

0,7 G\$ investis
48 startups

* Issus du *Quantum, Technology Monitor* de McKinsey & Company, avril 2024

(2024) Taille globale du marché d'autres secteurs importants en technologies (montants en \$ US)

~750 G\$
Infonuagique

~670 G\$
Semiconducteur

~280 G\$
Intelligence artificielle



3 piliers technologiques complémentaires, 3 rythmes

Le calcul, la communication et la détection quantiques évoluent sur des horizons technologiques distincts : la détection affiche des TRL plus élevés, mais peine à être commercialisée ; la communication progresse par blocs (QKD, puis Internet quantique) ; le calcul reste à l'état expérimental, malgré un potentiel de rupture majeur à moyen terme.

La correction d'erreur et le passage au qubit logique, verrous stratégiques principaux

Malgré le doublement régulier des qubits physiques, très peu d'acteurs sont en mesure d'exploiter pleinement le qubit logique. La course se concentre désormais sur la correction d'erreurs, condition essentielle pour atteindre un calcul quantique tolérant aux fautes et permettre l'émergence d'applications industrielles.

Les technologies habilitantes, un levier stratégique à exploiter

Photonique, cryogénie, électronique de contrôle, fabrication spécialisée : ces segments techniques soutiennent l'ensemble de la chaîne de valeur, et constituent des marchés à fort potentiel économique, en grande partie autonomes.

Opportunité économique structurante malgré son flou

Le marché du quantique est évalué à 173 G\$ US d'ici 2040, mais les cas d'usage concrets sont encore rares. Sa valeur potentielle sera surtout liée à son rôle de catalyseur technologique, un levier pour accélérer l'innovation dans des secteurs stratégiques comme l'énergie, la défense, la finance ou les matériaux avancés.

Une révolution technologique de long terme, qui appelle à la patience

Comme les télécoms, l'IA ou l'informatique classique, le quantique suit une trajectoire d'adoption longue, marquée par des percées irrégulières, mais déterminantes. La transition se fera par intégration progressive, sur des niches ciblées.

Positionnement du Québec



à l'échelle
mondiale

L'avance quantique du Canada et du Québec s'appuient sur la force de pôles d'excellence nationaux, développés grâce à une vision et à des investissements stratégiques précoces.

Le Canada figure parmi les pays pionniers du développement quantique, porté dès les années 2000 par une volonté affirmée de traduire l'excellence scientifique en capacité industrielle. L'émergence d'entreprises comme D-Wave (Vancouver), première au monde à commercialiser un quantum annealer, et 1QBit (Victoria), spécialisée dans les logiciels d'optimisation quantique, a contribué à structurer un premier écosystème entrepreneurial et à attirer l'attention sur les applications concrètes du calcul quantique.

Ce dynamisme a été renforcé par la consolidation progressive d'un pôle stratégique à Waterloo, autour de l'Institute for Quantum Computing (IQC), du Perimeter Institute et du Quantum Valley Investments. Ce noyau ontarien, soutenu dès 2016 par des investissements philanthropiques, privés et publics, a jeté les bases de la Stratégie quantique nationale du Canada, officialisée en 2022.

La stratégie repose sur trois piliers : la recherche scientifique de calibre mondial, le développement d'une main-d'œuvre spécialisée et la commercialisation d'innovations issues du quantique.

Dans ce contexte pancanadien, le Québec a affirmé une approche complémentaire.

S'appuyant sur des expertises de pointe en matériaux, photonique et calcul haute performance, le Québec a posé les premiers jalons d'un écosystème distinct.

Le gouvernement du Québec a mis sur pied la Zone d'innovation quantique à Sherbrooke, appuyée par un financement majeur du programme Apogée Canada et par la mobilisation de partenaires industriels, scientifiques et institutionnels.

Cette zone s'articule autour de l'Institut quantique de l'Université de Sherbrooke, dans une logique de convergence entre infrastructures partagées, laboratoires ouverts et accompagnement entrepreneurial.

Cette trajectoire témoigne d'un positionnement différencié mais cohérent avec les dynamiques fédérales. Alors que l'Ontario s'est imposée comme pôle historique de la recherche quantique, le Québec se construit comme plateforme d'expérimentation, d'industrialisation et de formation intégrée.

L'enjeu est désormais de renforcer l'articulation entre ces pôles, tout en affirmant la spécificité québécoise sur la scène internationale.



Inauguration de l'Espace quantique 1, Sherbrooke, 2023

Martin Enault (directeur général par intérim de DistriQ), Geneviève Hébert (députée de Saint-François), Alain Aspect (prix Nobel de la physique en 2022), François Legault (premier ministre du Québec), Pierre Fitzgibbon (ministre de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie), Sarah Jenna (directrice générale de Quantum Venture Studio), Martin Laforest (gestionnaire du fonds Quantacet), Dr. Georges-Olivier Reymond (cofondateur de Pasqal), Donald Martel (député de Nicolet-Bécancour)

Photo : Chloé-Anne Touma



Ouverture du centre quantique-nano Mike & Ophelia Lazaridis, partagé par l'Institute for Quantum Computing (IQC), le Waterloo Institute for Nanotechnology (WIN) et le programme de génie en nanotechnologie, Waterloo, 2012

Raymond Laflamme (premier directeur de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo), Doug Fregin (co-fondateur de Research In Motion puis Quantum Valley Investments), Mike Lazaridis (co-fondateur de Research In Motion puis Quantum Valley Investments) Ophelia Lazaridis, Stephen Hawking (physicien théoricien, cosmologiste et auteur)

Photo : Quantum Valley Investments

Le Québec s'inscrit dans un réseau canadien, où la collaboration et l'utilisation des forces complémentaires sont incontournables et stratégiques.

Le Canada s'est doté d'un réseau quantique structuré, appuyé par des pôles complémentaires à l'échelle provinciale. En Ontario, des institutions comme le Perimeter Institute, l'Institute for Quantum Computing et le Quantum Valley ont joué un rôle moteur dans la stratégie nationale. En Colombie-Britannique, des entreprises pionnières et le Quantum Algorithms Institute soutiennent le

développement industriel. L'Alberta consolide un écosystème axé sur les matériaux et la cryogénie. L'ensemble est coordonné à l'échelle fédérale par Quantum Industry Canada, qui veille à la cohérence des efforts publics et privés. Dans ce paysage distribué, le Québec s'inscrit comme acteur engagé, misant sur la complémentarité des expertises et l'intégration aux initiatives nationales.

Colombie-Britannique

- Université de Colombie-Britannique
- Université Simon Fraser
- Université de Victoria
- Stewart Blusson Quantum Matter Institute (SBQMI)
- Quantum Algorithms Institute

Alberta

- Université de Calgary
- Université de l'Alberta
- Université de Lethbridge
- Applied Nanotools
- Applied Quantum Materials Inc.
- Quantum Silicon Inc.
- Quantum Alberta
- Zero Point Cryogenics

Ontario

- Université de Toronto
- Université de Waterloo
- Université d'Ottawa
- Institute of Quantum Computing
- Perimeter Institute
- Conseil national de recherches Canada
- Xanadu
- Honeywell
- ISARA



« Construire un ordinateur quantique fiable est tellement difficile que si l'on ne s'y met pas ensemble, on n'y arrivera jamais »

Alain Aspect
Prix Nobel de Physique 2022

(2024)

Investissements dans l'écosystème quantique canadien (montants en \$ US)

~1,4 G\$ US

d'investissements publics

* Incluant 360 M\$ sur 7 ans pour la stratégie nationale quantique (comparativement à 3,8 G\$ aux États-Unis)

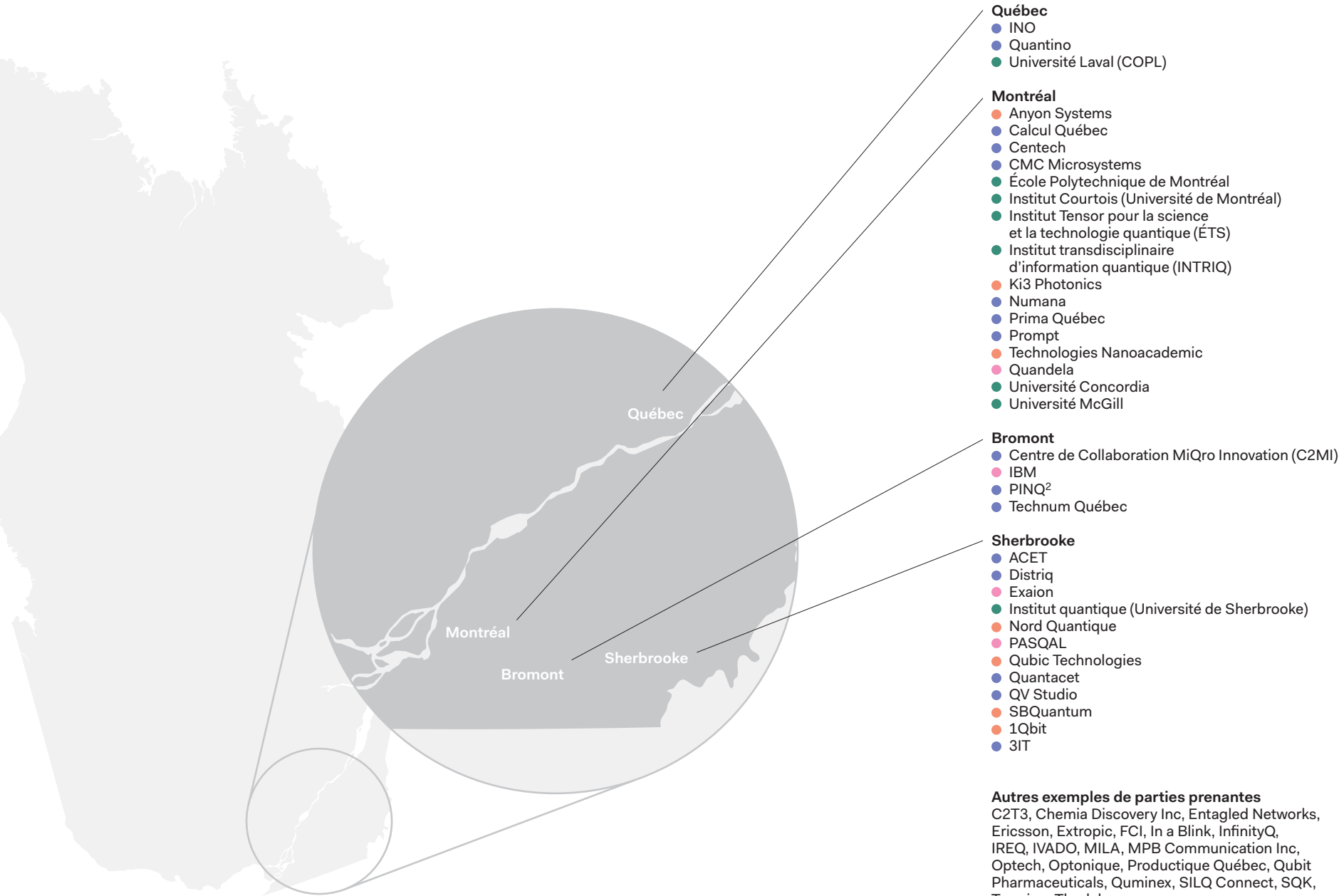
~1,3 G\$ US

d'investissements privés

Comparativement à 3,8 G\$ aux États-Unis

Le Québec dispose aujourd'hui d'un écosystème quantique qui réunit expertise académique, startups et organismes de soutien, et dont le succès sera lié à notre capacité à assurer un partage clair des rôles à l'échelle du territoire québécois.

- Universités et centres de recherche
- Organismes de soutien à l'écosystème
- Startups et entreprises québécoises et canadiennes
- Startups et entreprises (filiales étrangères)



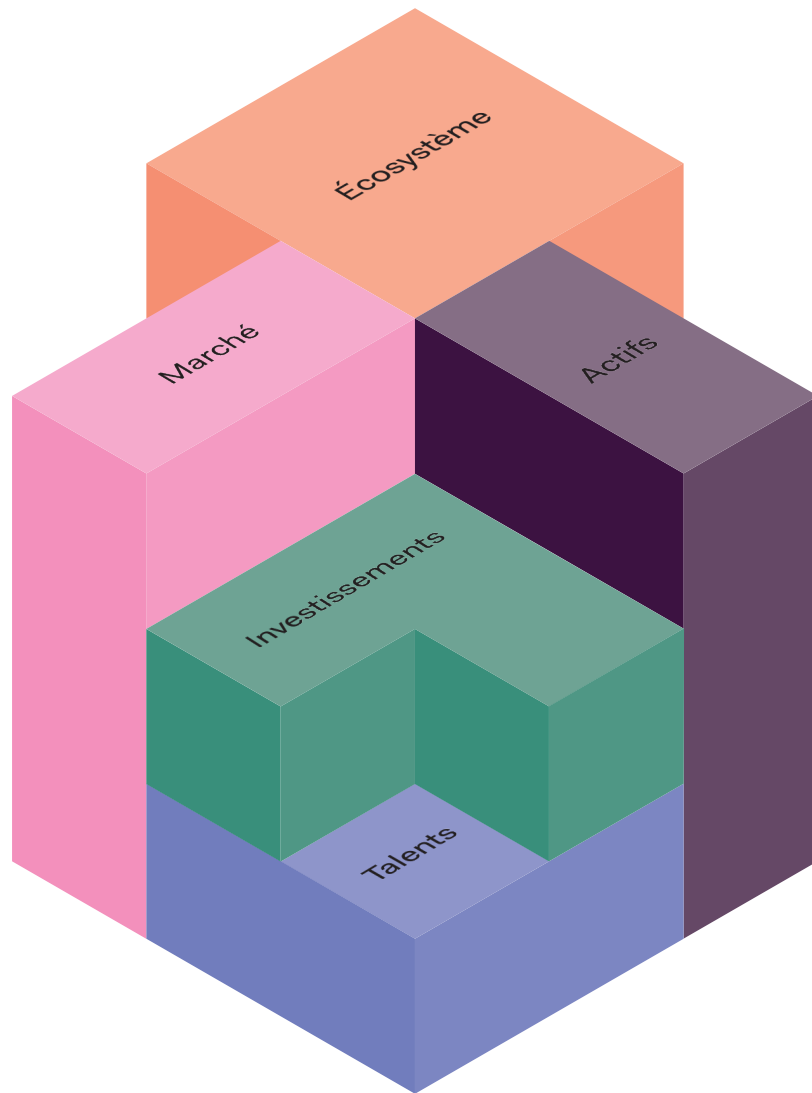
Écosystèmes habilitants

Intelligence artificielle
Le Québec se positionne comme un pôle majeur en intelligence artificielle, avec **plus de 240 startups, 45 000 professionnels et 53 chaires de recherche**. Son expertise reconnue en algorithmie en fait un acteur de premier plan à l'échelle internationale.

Optique-photonique
L'écosystème optique-photonique du Québec, structuré par le **pôle Optonique**, regroupe plus de **130 entreprises et 7 500 employés**, avec une forte capacité d'exportation. Il se distingue en imagerie, instrumentation et capteurs, au service de secteurs comme l'aérospatiale, la santé et les télécoms.

Chaîne d'innovation intégrée
En réunissant **plateformes de recherche, infrastructures de pointe, entreprises et établissements de formation**, elle accélère le développement, facilite le transfert technologique et forme une main-d'œuvre spécialisée.

Accélérer le développement du quantique au Québec passe par l'activation conjointe de 5 leviers stratégiques : investissements, talents, actifs, marchés et coordination écosystémique.



■ Investissements	Le capital privé et public permettant de renforcer l'écosystème, de soutenir les infrastructures et de propulser l'essor des technologies quantiques au Québec et au Canada.
■ Talents (académique, professionnel)	La formation et rétention d'experts de calibre mondial et l'attraction de talents stratégiques pour l'accélération, le développement, la recherche appliquée et la commercialisation
■ Actifs	Les équipements, espaces et technologies de pointe permettant l'expérimentation, la conception, le test et la validation nécessaires au développement de solutions quantiques.
■ Marché	Les entreprises et organisations prêtes à cocréer, tester et adopter les technologies quantiques
■ Écosystème	Le maillage entre les acteurs, les réseaux de soutien et les structures de coordination permettant de connecter les expertises, d'aligner les initiatives et d'intégrer les écosystèmes complémentaires (ex : intelligence artificielle) ainsi que les partenariats nationaux et internationaux.

Le Québec s'est positionné très tôt et de façon visible, notamment par des investissements significatifs, ce qui lui confère aujourd'hui un niveau d'expertise reconnu internationalement.

Les investissements publics dans le quantique au Québec se sont intensifiés au cours des quinze dernières années, traduisant une volonté claire d'ancrer cette filière stratégique dans le tissu scientifique et industriel québécois. Depuis les premiers soutiens au regroupement de chercheurs INTRIQ en 2009, plusieurs jalons majeurs ont structuré l'écosystème : le financement Apogée en 2015, la création de Distriq à Sherbrooke en 2022, ou encore plus de 70 M\$ investis par le ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie pour favoriser l'arrivée d'acteurs industriels, accélérer le développement technologique et renforcer les plateformes partagées.

Ces efforts s'inscrivent dans un contexte plus large, porté par la Stratégie nationale quantique annoncée en 2022 par le gouvernement fédéral. Dotée d'un budget de 360 M\$ sur sept ans, cette stratégie vise à soutenir la recherche fondamentale, la formation de talents et la commercialisation des innovations.

Plus récemment, le ministère de la Défense nationale a annoncé de nouveaux investissements pour appuyer les applications stratégiques du quantique, notamment en communication sécurisée, en capteurs avancés et en calcul de haute précision.

La convergence de ces initiatives québécoises et fédérales place le Québec au cœur de la feuille de route canadienne pour le quantique. Elle en fait un terrain d'expérimentation et de déploiement privilégié, où se développent des applications industrielles à fort impact et où se consolide une souveraineté scientifique capable de positionner le Canada parmi les leaders mondiaux.

Certains investissements et dons, bien que non spécifiquement orientés vers le quantique, soutiennent directement son écosystème, notamment 17 M\$ pour l'agrandissement du C2MI et 50 M\$ à Polytechnique Montréal pour la création d'un institut dédié aux technologies de rupture.

Grands investissements des gouvernements du Canada et du Québec et dons majeurs pour l'avancement du quantique au Québec

- Gouvernement du Québec
- Gouvernement du Canada
- Dons majeurs



Ces investissements ont notamment permis de créer Distriq, la zone d'innovation quantique à Sherbrooke.

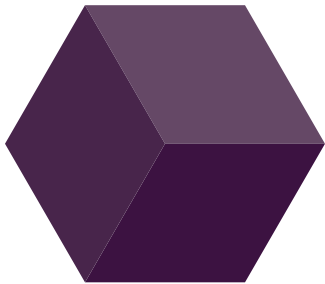
Officiellement désignée en février 2022, Distriq est l'une des quatre zones d'innovation de calibre international mises en place par le gouvernement du Québec. Les zones d'innovation visent à attirer, dans des territoires délimités, des talents, des entrepreneurs, des décideurs et des chercheurs du Québec et d'ailleurs. Leur objectif est d'augmenter la commercialisation des innovations, les exportations, les investissements locaux et étrangers ainsi que la productivité des entreprises dans des secteurs technologiques d'avenir pour lesquels le Québec détient des avantages comparatifs importants.

Distriq, zone d'innovation quantique du Québec, a pour mission d'accélérer le développement d'un écosystème quantique de renommée mondiale, qui forme et attire des talents et des entreprises de calibre international, tout en contribuant à créer un milieu de vie attrayant et durable. Elle a également pour mission de contribuer au développement économique de Sherbrooke et de l'Estrie.

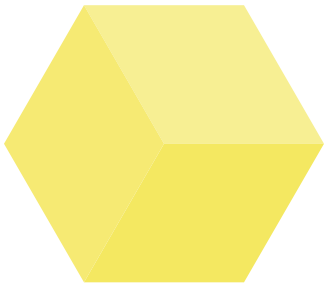
Distriq s'appuie sur un ensemble d'infrastructures complémentaires qui couvrent le cycle complet de l'innovation quantique, de la recherche fondamentale jusqu'à l'industrialisation. L'écosystème rassemble notamment l'Institut quantique, le 3IT, le C2MI, DevTeQ, PINQ² (incluant l'ordinateur IBM Quantum System One), le centre de données d'Exaion, ainsi que de futurs espaces comme l'Espace Quantique 2.

Cette concentration d'actifs permet de soutenir les activités de recherche, de prototypage, de calcul haute performance et de fabrication. Elle facilite également l'implantation de partenaires industriels et la croissance d'entreprises technologiques locales.

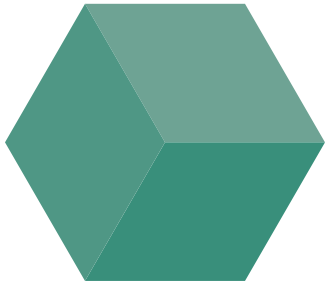
Les technologies issues de cet écosystème ont le potentiel de transformer plusieurs secteurs, notamment l'aérospatiale, l'énergie, la défense et les matériaux avancés.



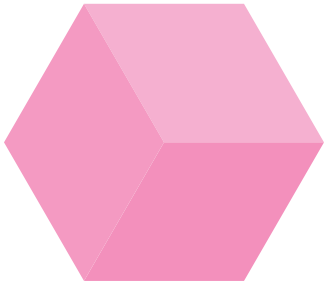
Faciliter l'accès aux programmes de soutien provinciaux et fédéraux



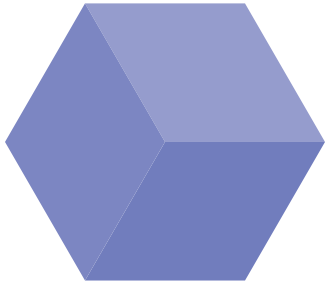
Attirer une main-d'œuvre qualifiée, créative et diversifiée



Réduire les coûts de recherche grâce à un centre d'innovation de calibre mondial



Accélérer le développement de solutions technologiques



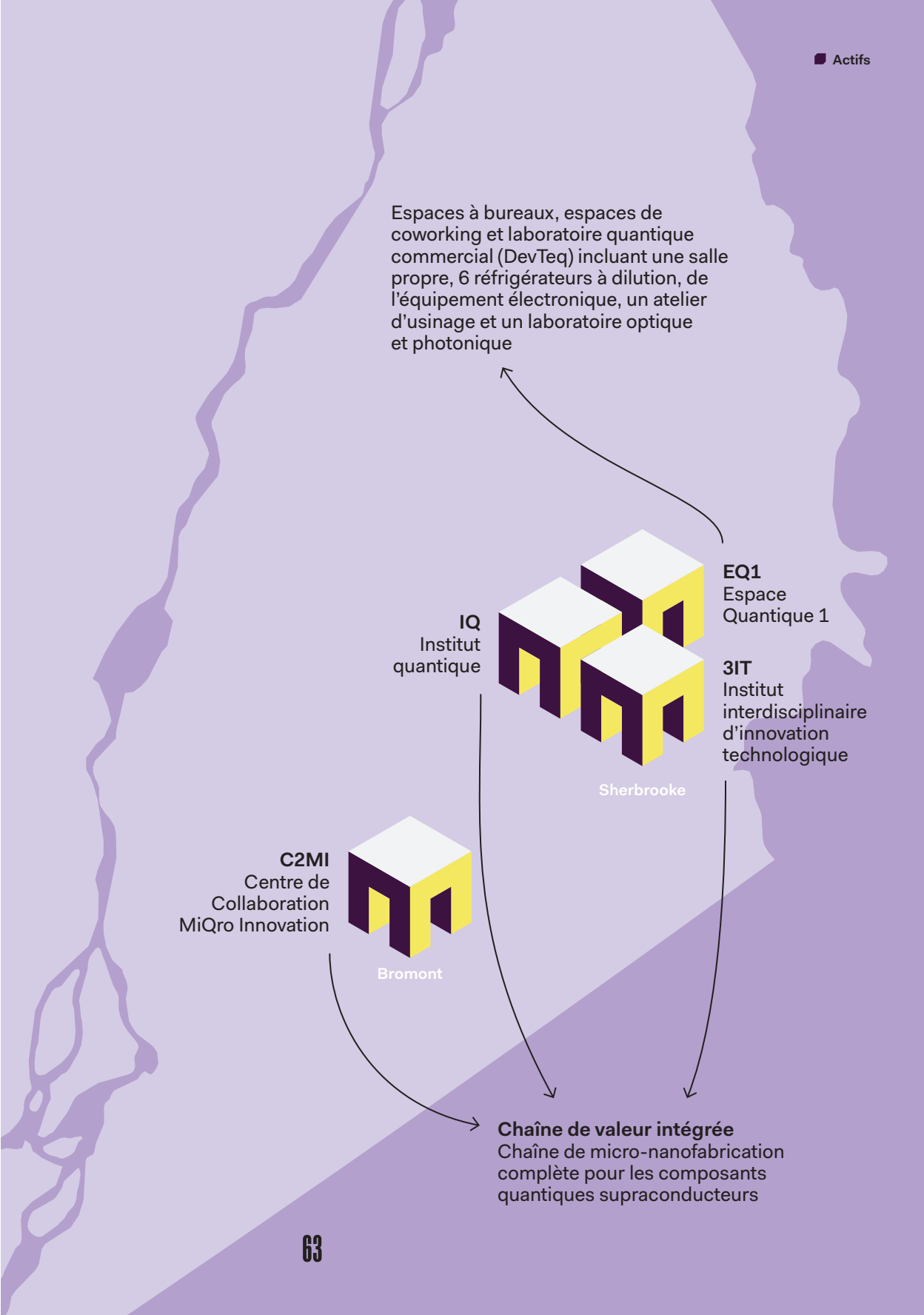
Favoriser la croissance et les investissements internationaux

Distriq vise à constituer une base d'actifs de qualité pour soutenir le développement des technologies quantiques au Québec.

Distriq s'appuie aujourd'hui sur un ensemble d'infrastructures complémentaires qui couvrent l'ensemble du cycle de l'innovation quantique, de la recherche fondamentale à l'industrialisation.

L'écosystème repose notamment sur l'Institut quantique, le 3IT et le C2MI, ainsi que sur des installations spécialisées comme DevTeQ, PINQ² (incluant l'IBM Quantum System One), le centre de données d'Exaion, et les futurs espaces EQ.3IT, CINQ et Espace Quantique 2.

Cette concentration d'actifs permet de soutenir les activités de recherche, de prototypage, de calcul et de fabrication, tout en facilitant l'accueil de partenaires industriels et le développement d'entreprises locales.



Le Canada se positionne comme un acteur crédible en propriété intellectuelle quantique, notamment en communication quantique, où il se classe au 4^e rang mondial.

Le Canada se positionne comme un acteur engagé sur la scène mondiale du quantique, notamment en matière de propriété intellectuelle. Entre 2000 et 2023, près de 3 000 demandes de brevet liées aux technologies quantiques ont été déposées au pays, plaçant le Canada au 7^e rang mondial.

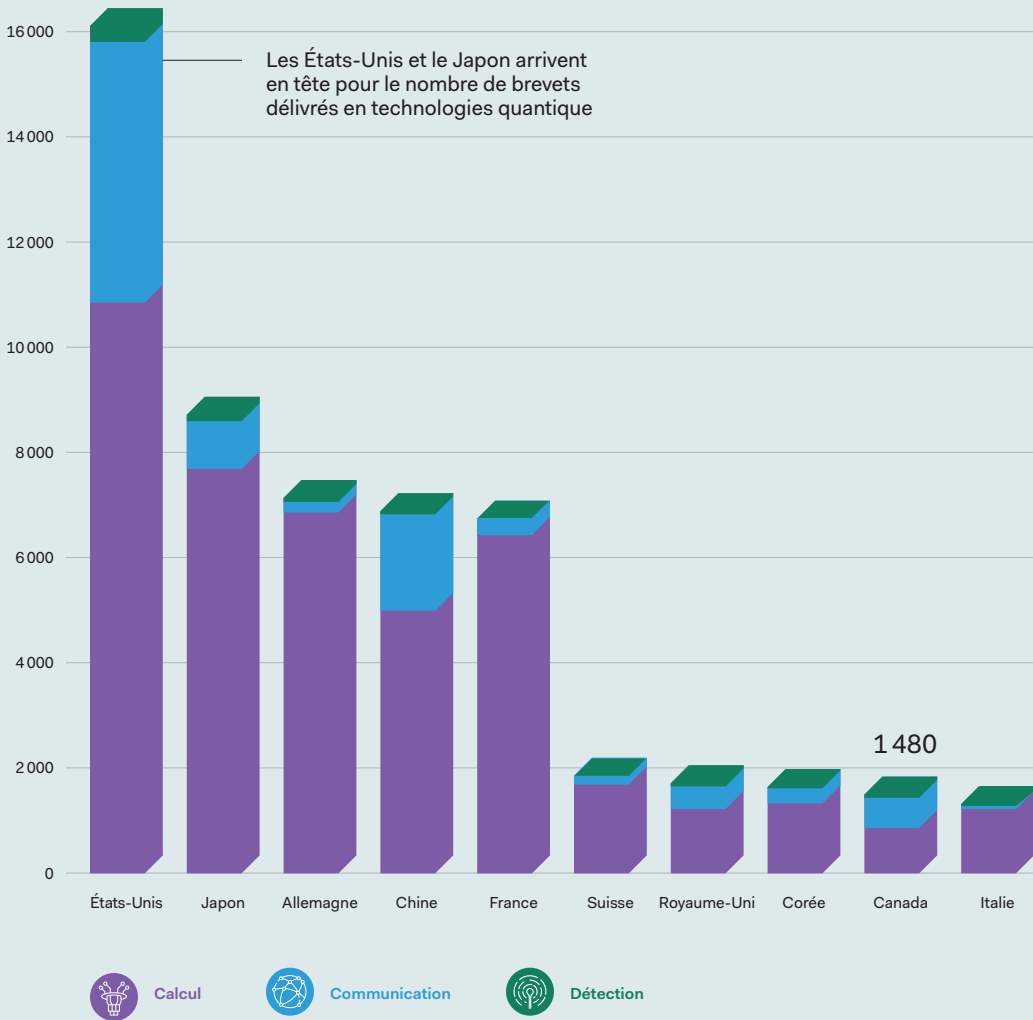
Cette dynamique est particulièrement marquée dans les communications quantiques, qui représentent 38 % de l'ensemble des brevets accordés à l'échelle nationale. Sur ce seul segment, le Canada occupe le 4^e rang mondial, derrière les États-Unis, la Chine et le Japon.

En 2023, les dépôts ont atteint un sommet avec environ 1 300 demandes, concentrées principalement sur le calcul quantique et ses composantes matérielles et logicielles. Cette activité soutenue illustre l'intensification des efforts de recherche appliquée, de valorisation technologique et de compétition stratégique dans les chaînes de valeur du quantique.

(2000-2023)

Nombre de brevets accordés en technologies quantiques
En fonction du pays où se trouve le siège social du déposant

- Calcul
- Communications
- Détection



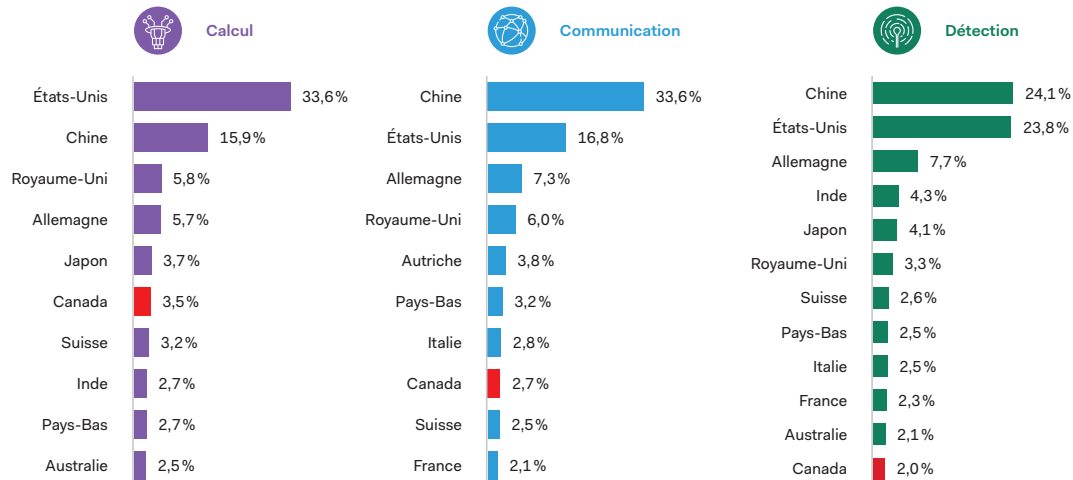
Le leadership canadien et québécois en quantique s'ancrent dans une expertise et une production académique reconnue à l'échelle mondiale.

Le leadership canadien en quantique repose sur une production scientifique soutenue et reconnue à l'échelle internationale. Entre 2019 et 2023, le Canada a publié plus de 1 200 publications sur les technologies quantiques, se positionnant parmi les principaux pays dans les domaines du calcul, de la communication et de la détection. Cette reconnaissance se traduit non seulement par le volume de publications, mais aussi par leur impact, avec une proportion significative d'articles hautement cités, notamment en calcul quantique.

Au Québec, cette excellence scientifique s'appuie sur un héritage de plus de 40 ans, porté par des figures emblématiques de la recherche mondiale, comme Gilles Brassard et Alexandre Blais. L'écosystème de recherche est structuré autour de regroupements académiques, tels qu'INTRIQ et le Regroupement québécois sur les matériaux de pointe (RQMP).

Ces réseaux mobilisent universités, centres de recherche et plateformes technologiques autour d'un objectif commun : développer une maîtrise scientifique des phénomènes quantiques et former la prochaine génération de talents. Cette continuité dans l'engagement scientifique constitue un socle stratégique pour le positionnement du Québec dans les chaînes de valeur du quantique.

Palmarès des pays classés selon le nombre de publications hautement citées* Publications de 2019 à 2023, selon le type de technologies quantiques



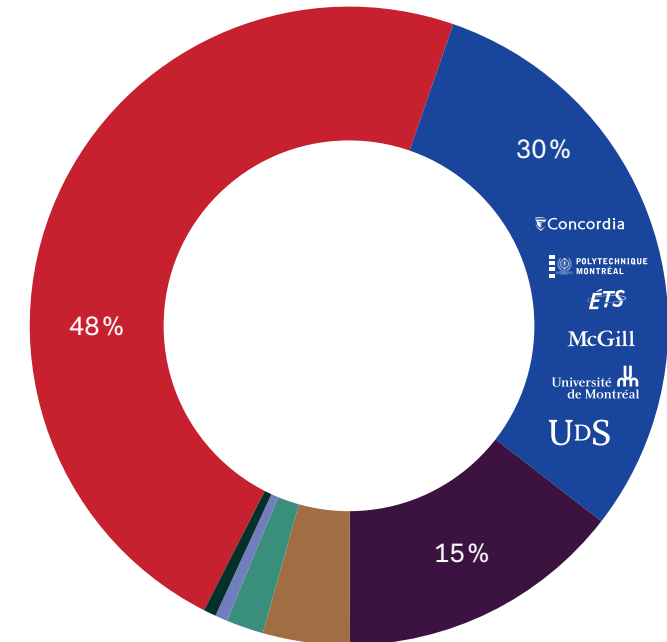
* Hautement cité signifie que les articles font partie des 10 % les plus cités parmi ceux publiés la même année dans le même domaine technologique.

Web of Science; Critical Technology Tracker; recherches, analyses et entretiens VOLUME10

(2024)

Répartition des chercheurs en quantique au Canada par province

- Ontario
- Québec
- Colombie-Britannique
- Saskatchewan
- Manitoba
- Nouveau-Brunswick
- Nouvelle-Écosse



nature

Explore content | About the journal | Publish with us | Subscribe

nature > letters > article

Letter | Published: 09 September 2004

Strong coupling of a single photon to a superconducting qubit using circuit quantum electrodynamics

A. Wallraff¹, D. I. Schuster, A. Blais, L. Frunzio, R.-S. Huang, J. Majer, S. Kumar, S.-M. Girvin & R. J. Schoelkopf

Nature 431, 162–167 (2004) | Cite this article
58k Accesses | 3450 Citations | 70 Altmetric | Metrics

Abstract

The interaction of matter and light is one of the fundamental processes occurring in nature, and its most elementary form is realized when a single atom interacts with a single photon. Reaching this regime has been a major focus of research in atomic physics and quantum

Cet article a posé les bases de l'électrodynamique quantique des circuits (EDQ), un cadre expérimental et théorique où un qubit supraconducteur interagit fortement avec un champ électromagnétique confiné dans un circuit résonnant, permettant de manipuler et de lire l'état du qubit avec une grande précision. Ce cadre a inspiré le développement des transmons, aujourd'hui la sous-catégorie de qubits supraconducteurs la plus utilisée et la plus avancée, employés notamment par IBM et Google.

Web of Science; Critical Technology Tracker; recherches, analyses et entretiens VOLUME10

Pour maintenir son avance, le Québec doit former des talents en quantique à tous les niveaux du parcours académique.

Le Québec forme déjà près du quart des diplômés canadiens dans les disciplines associées au quantique. Ce positionnement lui donne un levier important pour accroître sa capacité à attirer, former et retenir les talents nécessaires à la croissance de l'écosystème. L'Université de Sherbrooke joue d'ailleurs un rôle pionnier avec la création du tout premier baccalauréat canadien en sciences de l'information quantique, illustrant la volonté d'ancrer la formation dès le 1^{er} cycle.

Pour maintenir cette avance, le Québec doit renforcer son offre de formation en diversifiant les parcours, en rendant les filières plus accessibles et en attirant le meilleur talent étudiant et chercheur du monde. Cette action est d'autant plus stratégique que la compétition internationale pour les experts en quantique s'intensifie.

On recense aujourd'hui 87 programmes de maîtrise en technologies quantiques dans le monde, dont seulement quatre au Canada. Ce faible nombre, comparé à l'ampleur de l'offre internationale, accentue le risque de décrochage et place le Québec face à la nécessité d'investir davantage pour rester compétitif. L'Union européenne domine actuellement en nombre de diplômés dans des domaines liés au quantique, tandis que le Canada, le Royaume-Uni et plusieurs pays européens affichent une forte densité de profils pertinents.

87

Programmes de maîtrise en technologies quantiques dans le monde, dont 4 au Canada

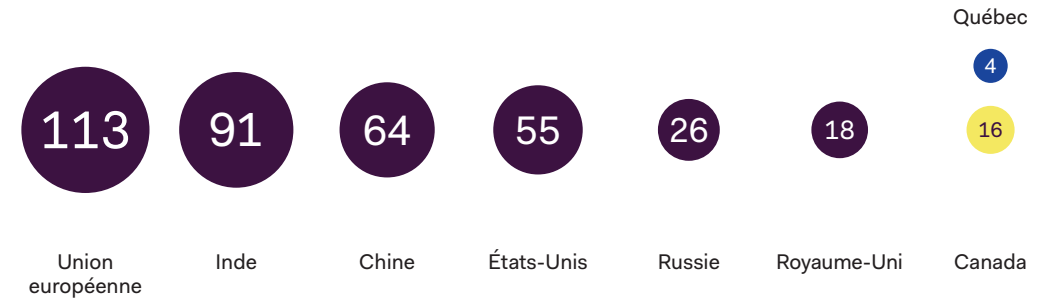
L'avance scientifique de plusieurs pays rend stratégiquement nécessaire pour le Québec de renforcer et diversifier à tous les niveaux son offre de formation en technologies.



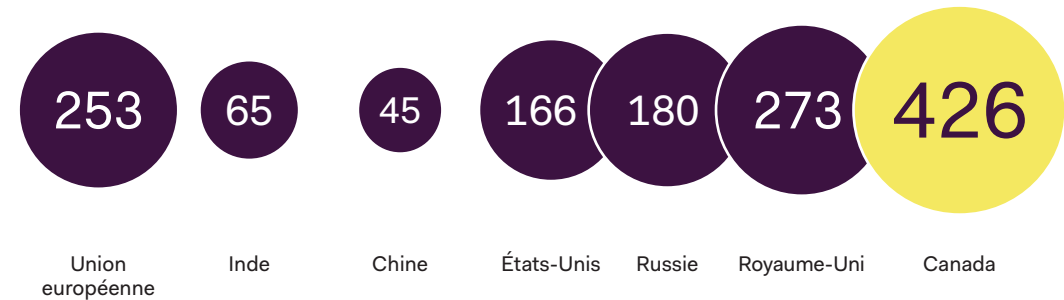
L'Université de Sherbrooke ouvre la voie en étant la première université au Canada à offrir un baccalauréat en sciences de l'information quantique.

(2021)

Nombre de diplômés* dans des domaines pertinents pour les technologies quantiques en milliers



Densité de diplômés* par million d'habitants



* Des diplômés de niveau maîtrise ou équivalent en 2021 dans les domaines des mathématiques, de l'informatique, des sciences de l'information et de l'ingénierie.

Pour renforcer son écosystème, le Québec doit aussi retenir les talents qu'il forme en technologies quantiques.

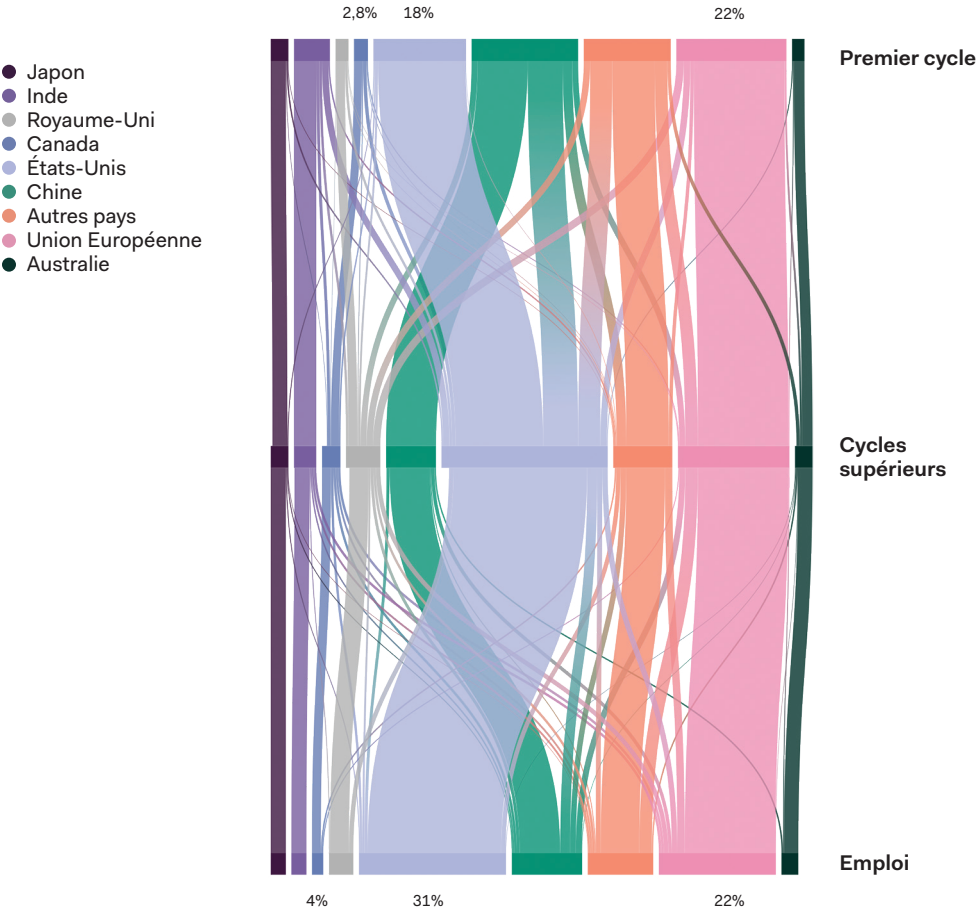
Le Canada se distingue par sa capacité à attirer des talents internationaux aux cycles supérieurs : 61 % des chercheurs les plus cités y ayant complété leurs études de deuxième cycle proviennent de l'étranger. Cette performance reflète une attractivité académique élevée, confirmée par la présence régulière du pays en tête des classements des meilleures destinations d'études à l'étranger.

Cependant, cette force en formation ne se traduit pas pleinement par une rétention durable des talents. Seuls 43 % de ces diplômés choisissent d'y poursuivre leur carrière, signe d'une fuite importante vers des marchés plus matures, où les processus d'immigration pour les talents sont plus efficaces ou les politiques d'attraction plus agressives. Les États-Unis concentrent à eux seuls 31 % des chercheurs à l'origine des publications les plus influentes en quantique, en grande partie grâce à leur capacité à recruter des experts formés ailleurs.

Cette tendance pose un défi stratégique : transformer l'excellence canadienne en formation en un avantage compétitif durable. Cela suppose de consolider les chaînes de valeur industrielles locales, de renforcer les passerelles entre recherche et emploi, et de créer les conditions favorables à la rétention des talents dans un marché mondial hautement concurrentiel.

Proportion des chercheurs les plus cités (2019 à 2023)

Trajectoires des chercheurs les plus cités en technologies quantiques par pays*



* Chercheurs ayant publié le quart des articles les plus cités en technologies quantiques

Le système d'immigration québécois repose sur une logique généraliste, conçue pour répondre aux besoins globaux du marché du travail. Or, cette approche montre ses limites dans des secteurs hautement spécialisés comme le quantique. Le parcours menant à la résidence permanente y est souvent plus long, plus opaque et moins prévisible que dans d'autres juridictions comparables. La structure en deux étapes – Certificat de sélection du Québec, puis demande fédérale – introduit un délai supplémentaire, rarement compatible avec les trajectoires de carrière accélérées des talents technologiques.

L'apprentissage du français comme langue commune constitue un objectif légitime et structurant. Cela dit, une application uniforme de cette exigence, sans égard aux réalités linguistiques du milieu de travail, tend à exclure des profils hautement qualifiés, déjà insérés dans l'écosystème. Dans un secteur où l'anglais

prédomine comme langue scientifique et opérationnelle, une approche plus progressive faciliterait la francisation sans compromettre l'attractivité du territoire.

La suspension des deux volets du Programme de l'expérience québécoise (PEQ), en vigueur depuis l'automne 2024, a renforcé ce climat d'incertitude. Elle affecte directement les diplômés étrangers des universités québécoises et les travailleurs temporaires spécialisés – soit les profils les plus recherchés dans le quantique.

Cette instabilité réglementaire contraste avec les stratégies claires et offensives déployées par d'autres pays pour attirer les talents scientifiques. Dans une compétition mondiale qui se joue désormais sur la capacité à mobiliser l'intelligence humaine, la complexité migratoire devient un désavantage stratégique.

Étude de cas : Le Danemark mise sur une visibilité ciblée et promet la stabilité



Sous la bannière *A State of Denmark*, une campagne sur les réseaux sociaux promet à la clientèle universitaire internationale, au doctorat et postdoctorat, un environnement de

recherche de haut niveau combiné à une qualité de vie attrayante. Ce positionnement met de l'avant un pays stable, accueillant et tourné vers l'avenir scientifique.

Étude de cas : La France renforce son attractivité scientifique

Lors du Sommet de l'IA 2025, la France a lancé la troisième phase de sa stratégie nationale en intelligence artificielle, portée par le plan France 2030 et axée sur la structuration de la recherche, l'accélération de l'innovation et la diffusion de l'IA dans tous les secteurs.

Le pays entend former 100 000 étudiants par an en IA, financer 200 thèses supplémentaires et développer neuf pôles d'excellence en IA, avec un investissement de 562 M\$.

Choose France™
La création de la cellule *Choose France for Science*, les dispositifs de visas ciblés

(Passeport talent, French Tech Visa) et les investissements majeurs en centres de données (environ 161 G\$) appuient cette stratégie.

Safe Place For Science

Aix Marseille Université

L'Université Aix-Marseille a lancé le programme Safe Place for Science pour accueillir 15 chercheuses et chercheurs internationaux.

CentraleSupélec et l'Université Paris Sciences & Lettres se sont pour leur part engagées à financer des recherches en IA ainsi qu'en sciences du climat et de la santé.

Étude de cas : Le Canada renforce son attractivité académique

En réponse aux instabilités du secteur universitaire aux États-Unis, certaines institutions canadiennes ont commencé à réagir.

Plusieurs universités québécoises ont publié des recommandations pour positionner le Québec et le Canada comme leaders en recherche et innovation, incluant la création de chaires stratégiques, le soutien aux

chercheurs émergents et le traitement rapide des demandes d'immigration des chercheurs.



À Toronto, le Réseau universitaire de santé (UHN) vise à recruter 100 jeunes chercheurs de pointe grâce au programme *Canada Leads 100*, appuyé par un investissement initial de 15 M\$.

Le développement du quantique exige une main-d’œuvre qualifiée et diversifiée, bien au-delà des seuls profils issus des cycles supérieurs

Le développement d'un secteur quantique, incluant la capacité à passer de la recherche à l'industrialisation, repose sur bien plus que la seule excellence scientifique. Il exige une compréhension partagée des compétences à mobiliser à chaque étape de la chaîne de valeur.

Cette réflexion est aujourd'hui amorcée au Québec, alors même que plusieurs juridictions – dont l'Union européenne – ont franchi une étape importante en établissant des cadres de référence structurés pour organiser, décrire et anticiper les besoins en main-d’œuvre.

Le European Competence Framework for Quantum Technologies

Le *European Competence Framework for Quantum Technologies* identifie trois axes d'expertise fondamentaux : les concepts quantiques (compréhension des phénomènes physiques), l'ingénierie (matérielle et logicielle) et les applications (capacités de transposition dans un usage). À ces axes correspondent six niveaux de maîtrise, du simple niveau de sensibilisation à l'innovation, permettant d'établir une lecture fine des profils et des parcours, dans une logique de complémentarité.

premiers jalons d'une lecture partagée des besoins : initiés, stratèges, technologues et spécialistes. Cette lecture, alignée avec les catégories émergentes à l'international (quantum practitioners, quantum scientists, quantum engineers, etc.), permet de clarifier les attentes en matière de formation, de recrutement et de mobilité professionnelle.

Dans un contexte où la croissance du secteur dépendra autant de la qualité de la recherche que de la capacité à mobiliser des équipes mixtes, dotées de compétences transversales, cette structuration devient stratégique. Elle permet de planifier l'arrimage entre les parcours éducatifs et les besoins industriels, d'offrir de nouvelles passerelles vers les métiers du quantique, et de renforcer la lisibilité des filières auprès des jeunes, des établissements de formation et des employeurs.

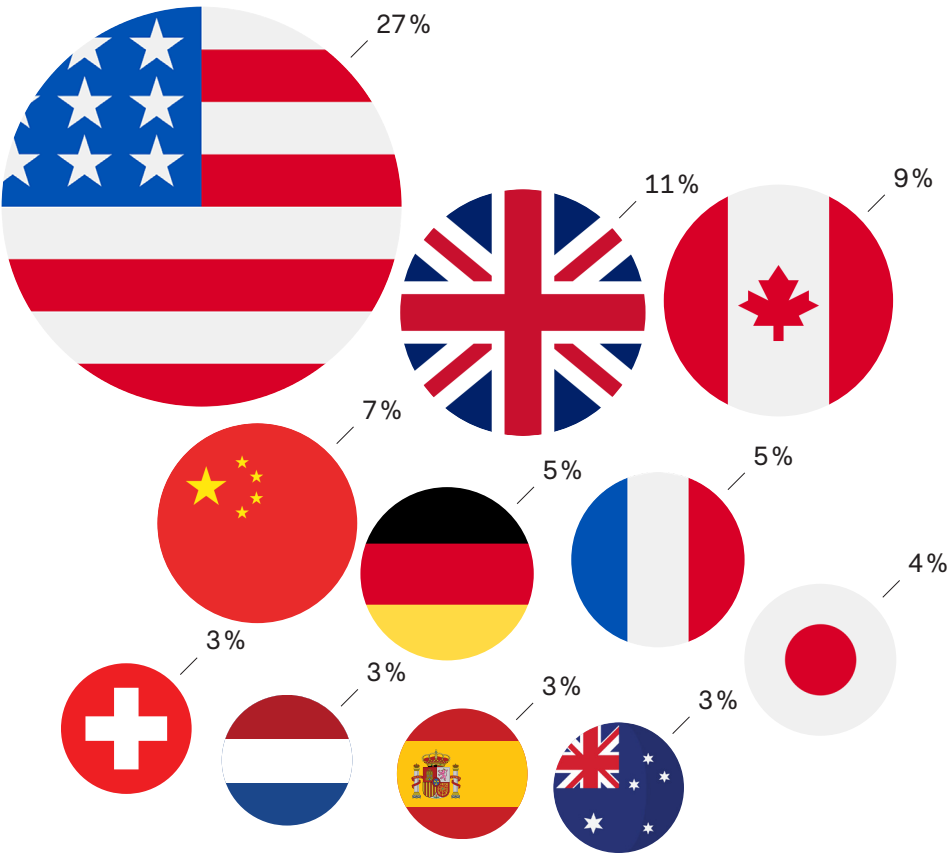
Niveaux d'expertise en quantique



Types de rôles	Publics visés
Initiés Sensibilisés aux notions de base, ils comprennent les fondements et s'intéressent au quantique.	• Décideurs • Étudiants • Grandes entreprises
Stratèges Ils comprennent les capacités des technologies quantiques, font des liens entre les problèmes d'affaires concrets, évaluent les cas d'usage et orchestrent l'adoption.	• Dirigeants technologiques • Chef de la technologie • Superviseur R-D
Technologues et opérateurs Personnel technique maîtrisant l'application concrète des technologies quantiques, ils manipulent, intègrent et adaptent des briques technologiques, ou participent à la fabrication des technologies habilitantes.	• Techniciens • Technologues • Développeurs • Analystes techniques
Spécialistes Conçoivent, développent ou optimisent les technologies quantiques elles-mêmes	• Chercheurs • Ingénieurs quantiques • Architectes de systèmes • Développeurs d'algorithmes

Le talent, les actifs et l'écosystème québécois ont permis de faire émerger plusieurs startups, dont plusieurs rayonnent à l'échelle internationale.

(2024) Proportion des startups en quantique dans le monde par pays



Calcul



Communication



Détection

	États-Unis	Royaume-Uni	Canada	Chine	Allemagne	France
Calcul	76	24	28	10	12	11
Communication	20	14	9	16	4	4
Détection	15	5	1	3	5	4

QUÉBEC



9



4



1

~37 %

des startups canadiennes en quantique, alors que le Québec ne représente que 20% du PIB du pays

Entreprises



Anyon Systems



Bit Quantum Ai Inc.



Chemia Discovery



InfinityQ Technology Inc



Irréversible



KI3 Photonics



Multiverse computing



Nanoacademics



Nord Quantique



Pasqal



Quandela



Qubic technologies



SBQuantum



t0.technology

L'écosystème quantique s'appuie sur des filières connexes solides, notamment en fabrication et en photonique.

Le développement des technologies quantiques au Québec s'inscrit dans la continuité de deux filières industrielles historiquement fortes : la fabrication avancée et la photonique. Ensemble, elles forment un socle structurant pour les chaînes de valeur du quantique, tant au niveau des équipements que des expertises techniques.

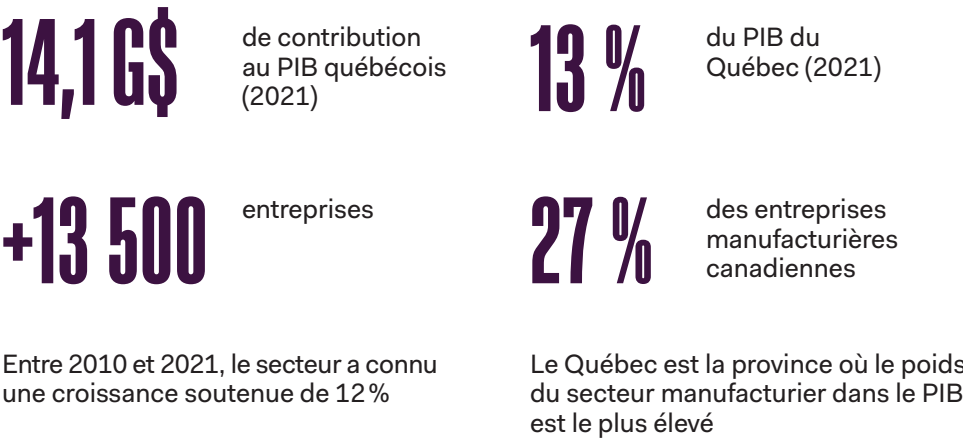
Le Québec est reconnu comme un pilier manufacturier au Canada, regroupant à lui seul 27 % des entreprises manufacturières du pays et contribuant à hauteur de 14,1 G\$ au PIB québécois. Cette solidité industrielle s'est construite sur des décennies de savoir-faire en mécanique, microfabrication, cryogénie ou électronique, et continue d'évoluer grâce à des investissements soutenus et à l'adoption de technologies de pointe.

De son côté, le secteur de la photonique a connu une croissance rapide, avec plus de 270 entreprises et 25 000 emplois au Québec, et une contribution au PIB qui pourrait dépasser les 8 G\$ d'ici 2035.

La photonique est aujourd'hui une technologie transversale, au cœur de secteurs stratégiques, comme les télécommunications, l'aérospatiale, les sciences de la vie ou encore la défense. Elle constitue aussi un pilier fondamental pour plusieurs technologies quantiques, notamment les capteurs, les communications et la photonique intégrée.

En combinant une base manufacturière robuste à un écosystème photonique en plein essor, le Québec dispose d'un environnement favorable à l'émergence d'avantages comparatifs dans le quantique. Cette interdépendance sectorielle appelle à une coordination étroite entre les filières, pour consolider les synergies et maximiser les retombées industrielles.

Le secteur manufacturier au Québec
Montants en \$ CAD



Le secteur de la photonique au Québec
Montants en \$ CAD



Des applications dans d'autres secteurs à fort impact
Montants en \$ CAD

Télécommunications	Aérospatiale	Sciences de la vie
32,5 G\$ (PIB 2019)	15,8 G\$ (PIB 2020)	2,1 G\$ (PIB 2022)

Un écosystème structuré et mobilisé
Principaux centres d'innovations :



Alors que le quantique s'impose de plus en plus comme un enjeu de sécurité nationale, la Défense nationale a le potentiel de devenir un moteur pour l'industrie, notamment en injectant du capital patient, comme on le voit ailleurs dans le monde.

L'augmentation annoncée du budget canadien de la défense à 2 % du PIB marque un tournant stratégique pour l'intégration des technologies de rupture, dont le quantique constitue un volet prioritaire. Ce réinvestissement massif, qui mobilisera plus de 9 G\$ dès 2025–2026, traduit une volonté d'adapter les capacités militaires aux exigences technologiques contemporaines.

Plusieurs des axes identifiés dans la nouvelle politique de défense – cybersécurité, communications sécurisées, capteurs avancés, traitement de données – sont directement liés à des applications quantiques. Ces orientations ouvrent la voie à un arrimage plus fort entre les priorités militaires et les chaînes de valeur industrielles, créant ainsi de nouvelles opportunités pour les entreprises canadiennes.

Cette approche est déjà bien établie à l'international, où des programmes pilotés par l'État permettent aux forces armées de maintenir une avance technologique tout en générant des retombées civiles majeures. Aux États-Unis, la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) a été à l'origine de technologies devenues omniprésentes, telles que l'Internet ou le GPS.

Aujourd'hui, la DARPA renouvelle cette approche avec l'initiative Quantum Benchmarking Infrastructure (QBI), qui vise à évaluer la faisabilité d'un ordinateur quantique tolérant aux fautes et économiquement viable d'ici 2033. Dix-huit entreprises participent à la première phase, avec un financement initial pouvant atteindre 1 M\$ US, dont trois canadiennes : Nord Quantique (Sherbrooke), Xanadu Quantum Technologies (Toronto) et Photonic Inc. (Vancouver).

En France, le programme PROQCIMA, coordonné par le ministère des Armées, poursuit des objectifs comparables en misant sur la convergence entre besoins militaires et innovations technologiques. Ces exemples montrent que l'intégration du quantique dans les stratégies de défense peut devenir un puissant levier d'innovation industrielle et de souveraineté.

Le Québec, fort de ses expertises scientifiques et manufacturières, se trouve bien placé pour contribuer à cette dynamique. En mobilisant ses forces académiques, industrielles et entrepreneuriales, il pourrait jouer un rôle central dans la construction d'une base industrielle capable d'absorber et d'activer les technologies quantiques, au service à la fois de la sécurité nationale et de l'économie.

Budget de la défense canadienne en 2024-2025
Montants en \$ CAD

1,3 % du PIB soit

53,4 G\$

Budget anticipé de la Défense canadienne d'ici 2025-2026
Montants en \$ CAD

2 % du PIB soit

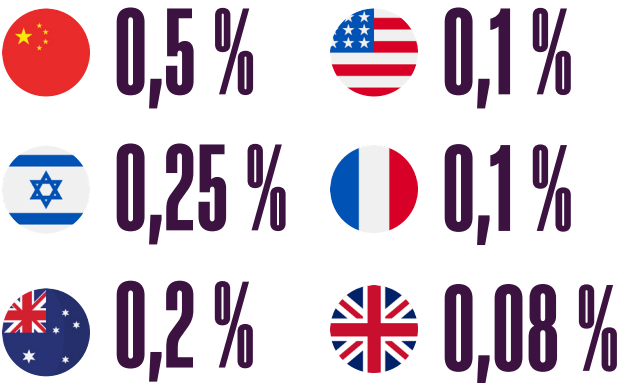
62,7 G\$

9,3 G\$

supplémentaire dont 560 M\$ destinés au renforcement des fondements numériques

Au Sommet G7 de 2025, Mark Carney annonce d'ailleurs 22,5 M\$ pour accélérer le développement et l'utilisation des technologies quantiques.

Proportion projetée des budgets de défense alloués au quantique 2025-2030



Avantages des budgets de la défense

Soutien facilité des entreprises locales : les budgets ne sont pas soumis aux accords de libre-échange

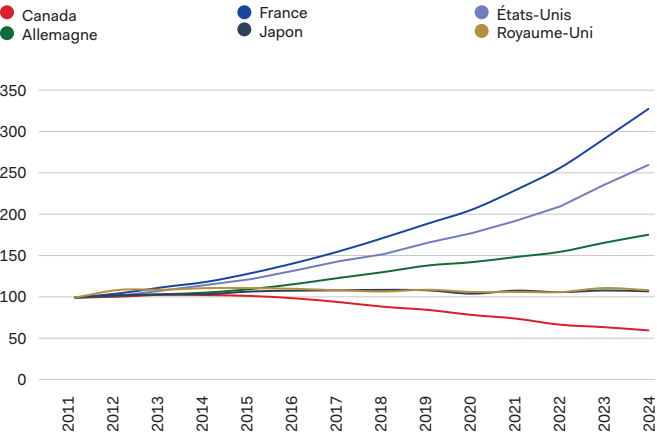
Investissements à long terme et non cycliques : les stratégies de la défense ne sont pas affectées par les changements d'administration

Affecté par un recul canadien en matière d'innovation, le Québec doit accentuer la cadence au coeur d'un environnement technologique mondial en forte accélération.

Le Canada connaît une trajectoire préoccupante en matière d'innovation. Entre 2011 et 2024, il est le seul pays du G7 à avoir vu son classement baisser au sein de l'Indice mondial de l'innovation, passant du 2^e au 6^e rang, pendant que la France, les États-Unis et l'Allemagne gagnaient du terrain. Malgré des investissements publics importants, le pays peine à transformer le savoir en innovations concrètes et commercialisables.

Ce décalage s'explique par une culture d'affaires prudente, des structures industrielles peu ouvertes et une fragmentation persistante des initiatives. L'écosystème entrepreneurial montre également des signes d'essoufflement : la création d'entreprises stagne, l'adoption des technologies reste limitée et le capital de risque en amorçage recule nettement, freinant l'émergence de nouvelles solutions.

Évolution de l'Indice mondial de l'innovation*
Variation (%) par rapport à l'année de référence (2011)

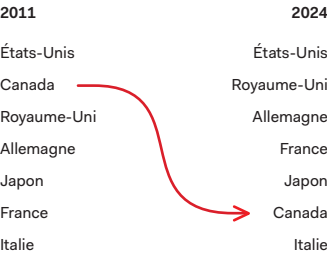


Organisation de coopération et de développeent économiques (OCDE); The Global Economy; Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI); Canadian Venture Capital and Private Equity Association; recherches, analyses et entrevues VOLUME10

Cette situation contraste avec la tendance mondiale, où l'innovation devient un levier stratégique de souveraineté, de sécurité et de compétitivité. Le Canada conserve une approche réactive et cloisonnée, sans articulation claire entre recherche publique, ambitions industrielles et stratégie commerciale. Trop souvent, la politique d'innovation se limite à soutenir la production académique, sans mettre en place les conditions favorisant son adoption à grande échelle.

Pour le Québec, cette réalité impose d'agir avec lucidité et ambition. Il s'agit de bâtir une stratégie cohérente et durable, centrée sur l'impact, la création de valeur et l'ancrage local des capacités d'innovation, tout en s'inscrivant pleinement dans les chaînes de valeur mondiales à forte intensité technologique.

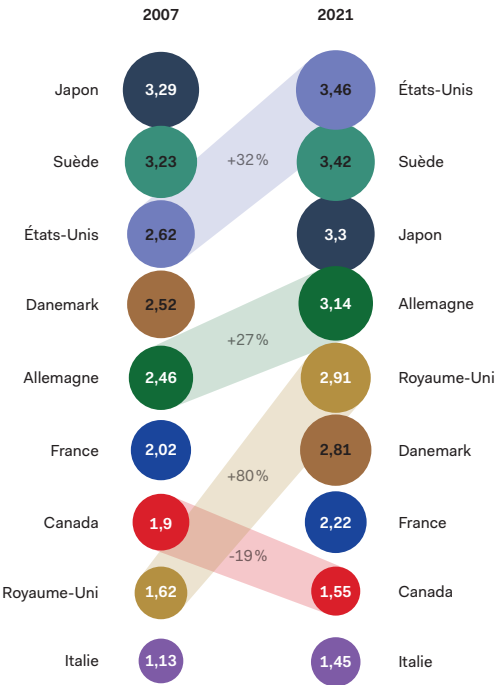
Classement des pays du G7 en fonction de l'Indice mondial de l'innovation



* Produit par l'OMPI, l'Indice mondial de l'innovation est un indice de référence mondial qui mesure la capacité d'un pays à innover à partir de 80+ indicateurs rigoureux couvrant les intrants (éducation, infrastructure, politiques) et extrants (brevets, publications, produits), selon une méthodologie éprouvée et révisée annuellement.

Ce retard en innovation est notamment accentué par une baisse structurelle des investissements en recherche et développement au Canada.

Classement en fonction des dépenses en recherche et développement (R-D)
% du PIB dépensé en R-D



Depuis 2007, le Canada est le seul pays du G7 à avoir réduit la part de son produit intérieur brut (PIB) consacrée à la recherche et développement (R-D), avec une baisse marquée de 20 %. Cette tendance tranche nettement avec celle de ses partenaires, où l'investissement en R-D a progressé en moyenne de 25 %, notamment au Royaume-Uni, aux États-Unis et en Allemagne.

Ce désengagement relatif affaiblit la capacité d'innovation du pays et limite son positionnement dans les chaînes de valeur

technologiques émergentes. L'intensité de la R-D privée plafonne à 0,93 % du PIB, soit environ la moitié de la moyenne observée au sein de l'OCDE, illustrant l'incapacité persistante à mobiliser le secteur productif autour de l'innovation.

Dans un contexte de montée rapide de l'intensité technologique à l'échelle mondiale, ce recul impose un effort de rattrapage massif pour préserver la compétitivité économique du Canada et sécuriser sa place dans les secteurs d'avenir.

Organisation de coopération et de développeent économiques (OCDE); The Global Economy; Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI); Canadian Venture Capital and Private Equity Association; recherches, analyses et entrevues VOLUME10

Pour combler ce retard, le Québec doit transformer son excellence académique en solutions commercialisables, un défi qu'il peine historiquement à relever.

Le parcours qui mène une technologie du laboratoire au marché est souvent long, risqué et fragmenté. L'échelle de maturité technologique (Technology Readiness Level ou TRL) permet d'en baliser les étapes, allant de la recherche fondamentale (TRL 0-3) à la validation par prototypage (TRL 4-7), jusqu'à la mise à l'échelle industrielle (TRL 8-9).

Si le Québec se distingue par l'excellence de ses travaux scientifiques, il peine historiquement à franchir ces étapes critiques vers la commercialisation. Faible connexion entre laboratoires et marchés, valorisation timide de la propriété intellectuelle, absence de programmes d'achats publics en soutien aux premiers clients : autant de maillons manquants qui freinent le passage de l'invention à l'innovation.

Cette fragilité est particulièrement manifeste au cœur de la chaîne, la « vallée de la mort », où les démonstrations commerciales et le soutien au prototypage restent sous-développés. Relever ce défi structurel exige une approche plus intégrée du développement technologique, capable d'aligner expertise scientifique, capital patient, accompagnement sectoriel et stratégie industrielle.

Franchir cet écueil majeur devient une épreuve imposée; celle-ci exige une approche intégrée du développement technologique qui fera en sorte d'aligner expertise scientifique, capital patient, accompagnement stratégique et politiques industrielles coordonnées.

Dans le cycle de développement technologique, la zone correspondant aux niveaux TRL 4 à 7 est souvent qualifiée de « vallée de la mort ». Cette expression désigne une phase critique durant laquelle de nombreuses innovations échouent à franchir le cap entre le laboratoire et le marché. À ce stade, les prototypes existent, mais n'ont pas encore été validés dans des environnements opérationnels ou commercialement crédibles.

Le risque technologique reste élevé, ce qui freine l'intérêt des investisseurs privés, tandis que les mécanismes publics d'achat précoce ou de soutien ciblé sont souvent absents ou insuffisants. Ce déséquilibre crée un vide de financement et d'accompagnement, où les projets, malgré leur potentiel, peinent à démontrer leur valeur d'usage, à structurer leur stratégie de propriété intellectuelle ou à trouver leurs premiers clients. C'est dans cette zone que les innovations les plus prometteuses risquent d'être abandonnées, faute de conditions favorables à leur maturation commerciale.

Échelle de TRL

Enjeux spécifiques à la commercialisation

Recherche fondamentale

TRL 0-3

Faible connexion entre recherche et application, faute de ponts structurés entre laboratoires, experts en transfert et milieux entrepreneuriaux.

Propriété intellectuelle

Manque de soutien aux universités pour structurer une stratégie pour la propriété intellectuelle (PI) ancrée dans les réalités de marché et les dynamiques entrepreneuriales.

Prototypage et validation



TRL 4-7

Faible capacité à soutenir la démonstration commerciale, notamment en raison d'un soutien limité aux organismes de recherche et de technologie (ORT) et de l'absence de mécanismes d'achats précoces pour réduire le risque technologique.

Valorisation limitée de la PI et de l'établissement des standards dans les phases de validation, avec peu de ressources pour structurer les stratégies de protection, de licences ou de *spin-off*.

Fabrication, déploiement et mise à l'échelle

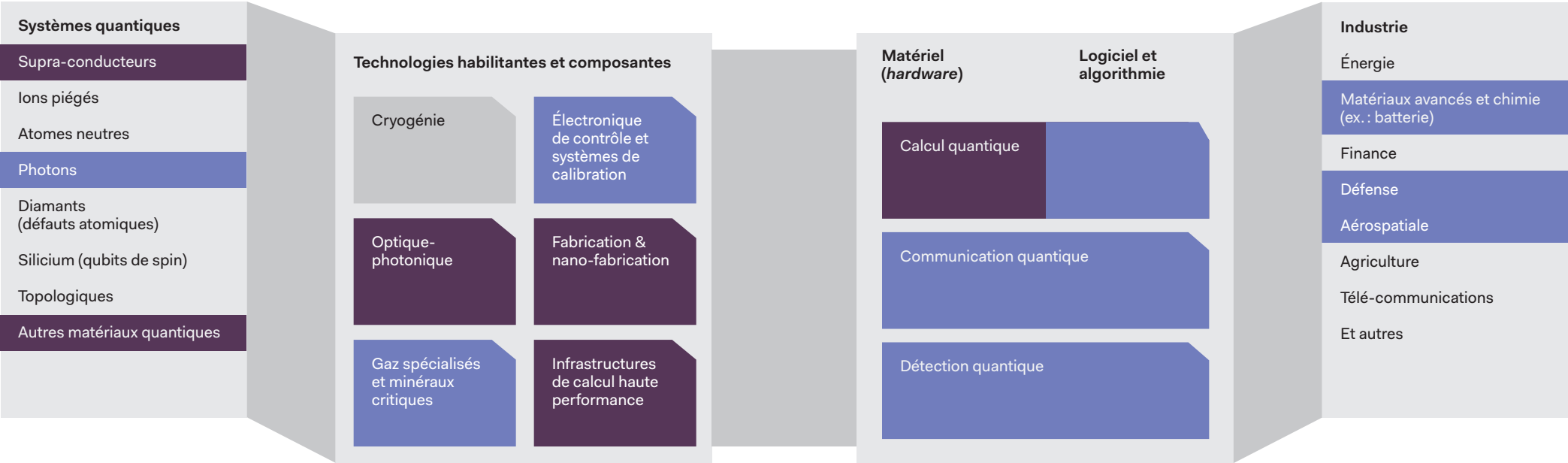
TRL 8-9

Peu de programmes publics agissant comme premiers acheteurs pour « dérisquer » la phase de mise en marché et soutenir les premières productions industrielles.

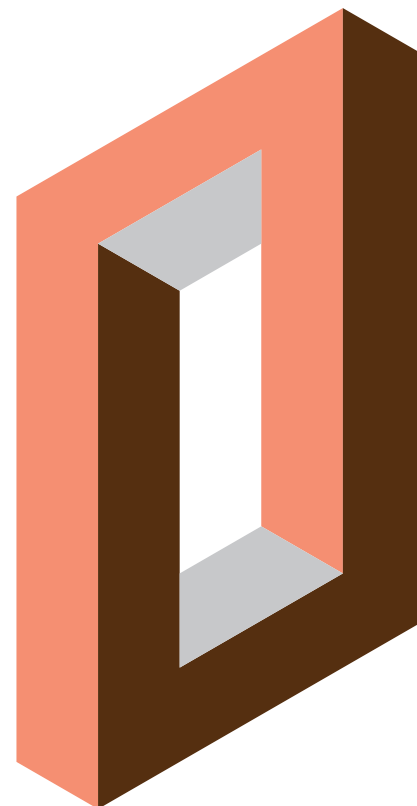
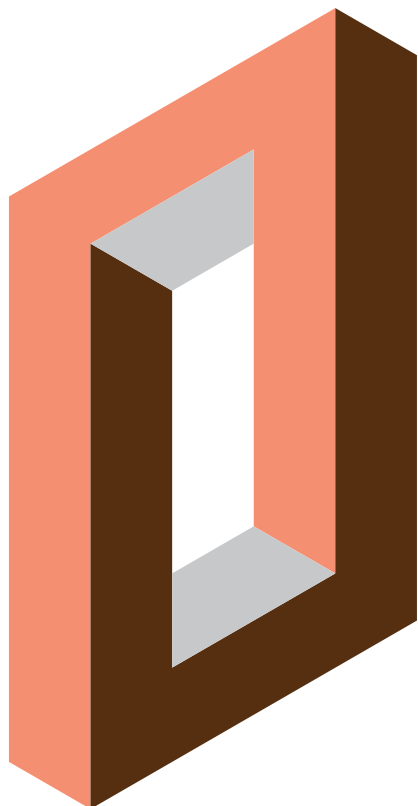
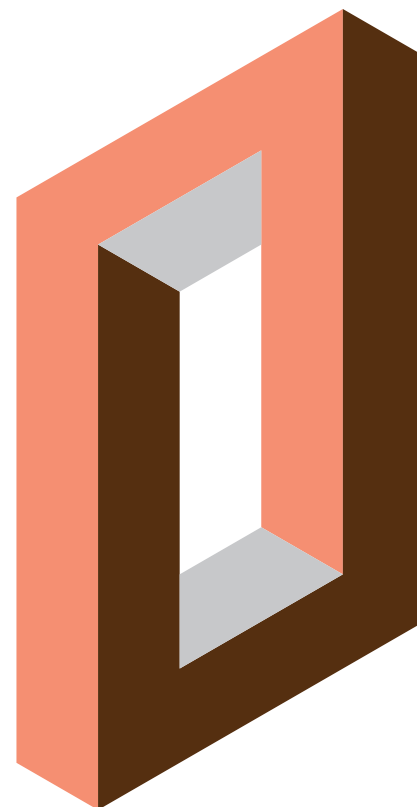
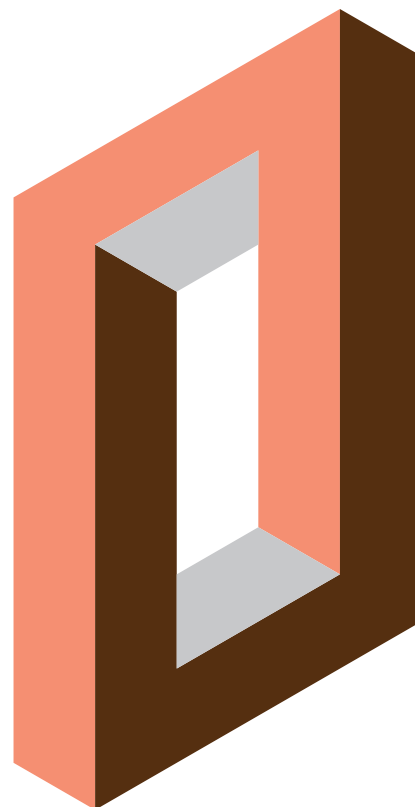
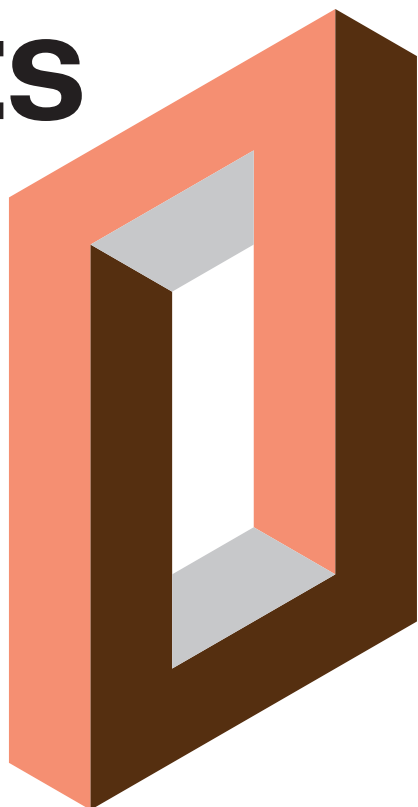
Mobilisation insuffisante de la PI comme levier stratégique dans les modèles d'affaires, freinant la négociation avec de grands donneurs d'ordres ou avec des industriels étrangers.

À retenir : Forces établies du Québec et leviers de différenciation

- Le Québec est bien positionné
- Le Québec pourrait se démarquer



Portraits



ALEXANDRE

Alexandre Blais

Jeter les bases de l'architecture des qubits supraconducteurs

Physicien théoricien de renommée internationale, Alexandre Blais est l'un des principaux architectes du circuit QED, une approche qui utilise des circuits supraconducteurs pour manipuler des qubits avec une grande précision. Ses travaux à l'Université de Sherbrooke et à l'Institut quantique ont permis de démontrer que l'électrodynamique quantique en cavité pouvait être adaptée aux circuits électroniques, ouvrant la voie à des calculateurs quantiques plus stables et évolutifs. Ce cadre théorique est aujourd'hui au cœur des technologies développées par IBM, Google et d'autres leaders du secteur. En plus de ses contributions scientifiques, Alexandre Blais joue un rôle clé dans la formation de la relève, dirigeant un important groupe de recherche et collaborant avec des partenaires industriels. Son influence se mesure autant dans l'avancement des connaissances que dans la structuration de l'écosystème quantique québécois et canadien, qu'il contribue à positionner parmi les pôles mondiaux les plus dynamiques.

GILLES

Gilles Brassard

Développer le protocole fondateur de la cryptographie quantique

Reconnu comme l'un des pères de la cryptographie quantique, Gilles Brassard a marqué l'histoire avec le protocole BB84, co-développé avec Charles Bennett en 1984. Ce protocole repose sur les lois de la mécanique quantique pour permettre un échange de clés de chiffrement inviolable. Professeur à l'Université de Montréal et membre de la Royal Society, il a jeté les bases d'un domaine désormais central pour la cybersécurité à l'ère de l'informatique quantique. Ses recherches ont également influencé d'autres champs, dont l'informatique quantique et la théorie de l'information. Brassard s'est distingué par sa capacité à anticiper les enjeux technologiques et à vulgariser la science, contribuant à sensibiliser décideurs et grand public aux impacts du quantique. Ses travaux continuent d'inspirer les chercheurs et de guider les politiques en matière de sécurité de l'information au Canada et à l'international, positionnant le pays comme un leader dans ce domaine stratégique.

RAYMOND

Raymond Laflamme

Bâtir une expertise canadienne de calibre mondial en information quantique

Physicien et cofondateur de l'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo, Raymond Laflamme a joué un rôle central dans la constitution d'une expertise canadienne reconnue mondialement. Ancien collaborateur de Stephen Hawking, il a orienté ses recherches vers l'informatique quantique et la correction d'erreurs, devenant une référence internationale dans le domaine. Sous sa direction, l'IQC est devenu un centre de recherche de pointe, combinant excellence scientifique et formation de la relève. Il a également contribué à tisser des liens solides entre la recherche fondamentale et l'industrie, favorisant la naissance de projets collaboratifs et la création de startups technologiques. Son engagement dans la diffusion des connaissances et la promotion de la science auprès du grand public a renforcé la visibilité et l'attrait du Canada pour les talents internationaux. Raymond Laflamme a ainsi durablement ancré le pays dans la course mondiale au quantique.

MIKE

Mike Lazaridis

Déclencher l'essor de l'écosystème quantique de Waterloo

Fondateur de Research In Motion (BlackBerry), Mike Lazaridis a réinvesti une partie de sa fortune dans la science fondamentale, donnant naissance à la Quantum Valley à Waterloo. Par la création de l'Institut d'informatique quantique (IQC) et du Perimeter Institute for Theoretical Physics, il a attiré des chercheurs de calibre mondial et mis en place les infrastructures nécessaires au développement d'un pôle d'excellence. Son engagement a catalysé l'essor d'entreprises, de programmes de recherche et d'investissements privés dans la région. En lançant le Quantum Valley Investment Fund, Lazaridis a aussi soutenu la commercialisation de technologies issues de la recherche, reliant ainsi innovation et marché. Sa vision long terme, associée à un investissement massif dans les talents et les équipements, a fait de Waterloo un modèle de développement écosystémique, inspirant d'autres régions au Canada et dans le monde à miser sur le quantique comme moteur de croissance.

ALIREZA

Alireza Najafi-Yazdi

Concevoir et fabriquer au Canada des calculateurs quantiques supraconducteurs, avec audace entrepreneuriale

Fondateur et PDG d'Anyon Systems, Alireza Najafi-Yazdi mène l'une des rares entreprises au monde capables de concevoir et fabriquer des ordinateurs quantiques supraconducteurs de bout en bout. Basée au Québec, Anyon Systems maîtrise l'ensemble de la chaîne, de la conception des qubits à l'intégration des systèmes de contrôle cryogéniques. Cette autonomie technologique permet à l'entreprise de livrer des solutions complètes à des clients institutionnels et industriels, y compris le gouvernement du Canada. Porté par une vision ambitieuse et un goût assumé pour l'entrepreneuriat de pointe, Najafi-Yazdi a su attirer des talents hautement spécialisés et établir des collaborations internationales stratégiques. En démontrant qu'une entreprise québécoise peut rivaliser avec les géants mondiaux du secteur, il contribue à élever le profil technologique du pays et à inscrire le Québec dans la cartographie mondiale des fabricants d'ordinateurs quantiques.

CHRISTIAN

Christian Weedbrook

Imaginer le futur de l'informatique grâce à la photonique quantique

Christian Weedbrook est le fondateur et PDG de l'entreprise canadienne Xanadu, start-up torontoise pionnière en informatique quantique photonique. Titulaire d'un doctorat en théorie de l'information quantique (Université du Queensland) et d'expériences postdoctorales au MIT et à l'Université de Toronto, il s'est lancé en 2016 dans l'entreprise avec une ambition radicale : rendre les ordinateurs quantiques utiles et accessibles à tous. Sous sa direction, Xanadu est devenue la seule entreprise à avoir publié trois fois dans Nature sur des avancées fondamentales : circuits à photons programmables, suprématie quantique via Borealis, et architectures modulaires photoniques. Grâce à un financement de plusieurs centaines de millions de dollars, enrichi par 40 M CAD fédéraux, la société développe un ordinateur quantique photonique tolérant aux fautes. Weedbrook incarne une vision disruptive au croisement de la recherche fondamentale, de l'ingénierie avancée et de l'entrepreneuriat.

LISA

Lisa Lambert

Fédérer la chaîne de valeur quantique à l'échelle canadienne

Originaire du Nord de l'Ontario, Lisa Lambert a toujours cherché à relier science et société. Après des études en neurosciences et en communication scientifique (Western, Laurentian), elle a contribué à des organisations de premier plan comme le Conseil des académies canadiennes, le Perimeter Institute et TRIUMF, développant une expertise en politiques publiques, partenariats stratégiques et rayonnement international. Forte de cette expérience et d'un parcours entrepreneurial (fondation de deux cabinets de conseil et co-auteur du bestseller The Future is Trust), elle a été choisie en 2023 comme première PDG de Quantum Industry Canada (QIC). À la tête de ce consortium national, elle mobilise l'écosystème pour transformer les atouts de recherche du pays en succès industriels et en prospérité économique. Pour Lisa, le quantique n'est pas seulement une avancée scientifique : c'est une opportunité stratégique pour positionner le Canada comme chef de file mondial dans la transition du laboratoire au marché.

DAVID

David Roy-Guay

Déployer des magnétomètres quantiques au service de l'exploration spatiale et terrestre

Fondateur de SBQuantum, David Roy-Guay développe des magnétomètres quantiques exploitant les propriétés des centres NV dans le diamant pour cartographier les champs magnétiques avec une précision exceptionnelle. Ces capteurs trouvent des applications dans l'exploration minière, la navigation sans GPS et l'observation spatiale. L'entreprise a notamment collaboré avec l'Agence spatiale canadienne pour tester ses capteurs dans des environnements simulant l'espace. En alliant savoir-faire scientifique et esprit entrepreneurial, David Roy-Guay positionne SBQuantum comme un acteur clé dans la commercialisation de capteurs quantiques robustes et miniaturisés. Sa capacité à transformer une technologie de laboratoire en solution opérationnelle illustre le potentiel du Québec à générer des innovations exportables à fort impact. Ses travaux contribuent à diversifier les applications industrielles du quantique et à créer des passerelles concrètes entre la recherche avancée et les besoins du marché global.

ROBERTO

Roberto Morandotti

Exploiter les propriétés de la photonique pour le quantique

Professeur à l'INRS et spécialiste de photonique intégrée, Roberto Morandotti explore comment manipuler la lumière à l'échelle quantique pour développer de nouvelles technologies de communication, de calcul et de détection. Ses recherches couvrent un large spectre, de la génération d'états quantiques de la lumière à la création de circuits photoniques intégrés capables de réaliser des opérations complexes. En combinant optique non linéaire, nanofabrication et concepts quantiques, il ouvre la voie à des systèmes plus compacts, efficaces et résistants au bruit environnemental. Collaborant avec des partenaires industriels et académiques à travers le monde, Morandotti contribue à placer le Québec et le Canada à l'avant-garde de la photonique quantique. Ses travaux renforcent la complémentarité entre différentes approches technologiques dans l'informatique quantique, offrant des alternatives aux architectures supraconductrices ou ioniques et enrichissant la diversité des solutions en développement à l'échelle internationale.

CHRISTIAN

Christian Sarra-Bournet

Mobiliser l'écosystème et assurer les liens entre recherche fondamentale et industrie

Directeur scientifique de l'Institut quantique de l'Université de Sherbrooke, Christian Sarra-Bournet met son expertise au service de la mobilisation de l'écosystème et de la création de passerelles entre recherche et industrie. Spécialiste du transfert technologique, il œuvre à transformer les résultats de la recherche fondamentale en innovations commercialisables. Sous sa direction, l'Institut quantique renforce ses partenariats avec des entreprises et organismes publics, multipliant les occasions de collaboration. Sa vision met l'accent sur l'interdisciplinarité et sur la capacité à faire converger les compétences en physique, ingénierie, informatique et entrepreneuriat. En facilitant le passage des découvertes au marché, Christian Sarra-Bournet contribue à positionner le Québec comme un acteur capable non seulement d'innover scientifiquement, mais aussi de générer des retombées économiques durables. Son action favorise un écosystème intégré, où science et industrie se renforcent mutuellement.

FRANCO

Franco Rasetti

Catalyser l'écosystème d'optique-photonique à Québec

Physicien d'origine italienne et figure de la première génération de chercheurs en physique au Canada, Franco Rasetti a contribué à établir et structurer la recherche en optique et photonique à l'Université Laval. Son travail dans les années 1940 et 1950 [LD1] a permis la création d'une masse critique de chercheurs et d'infrastructures, jetant les bases d'un écosystème scientifique qui allait influencer durablement la région de Québec. Par son leadership académique et sa capacité à attirer des talents, il a participé à la constitution d'un pôle de recherche reconnu internationalement, en lien avec les développements futurs en photonique quantique. Sa contribution, bien qu'antérieure à l'ère actuelle de l'informatique quantique, a préparé le terrain pour que la région puisse aujourd'hui jouer un rôle dans ce domaine. L'héritage de Rasetti se retrouve dans la solidité institutionnelle et la réputation scientifique bâties autour de l'optique-photonique à Québec.

RICHARD

Richard Bruno

Connecter science, industrie et politiques publiques pour bâtir un tissu entrepreneurial quantique

Richard Bruno a façonné l'écosystème d'innovation québécois en conjuguant science, entrepreneuriat et capital de risque. Titulaire d'un doctorat en physique de l'état solide de McMaster et d'un MBA exécutif, il a d'abord été professeur en Allemagne et aux États-Unis avant de rejoindre Philips, où il a dirigé des innovations de rupture comme le Compact Disc et les premiers terminaux Minitel. Entrepreneur en série, il a fondé et revendu plusieurs entreprises dans les secteurs des jeux vidéo, de la vidéoconférence et de la cybersécurité, marquant le marché de solutions technologiques grand public et professionnelles. Cofondateur et ex-président d'Anges Québec, il a contribué à bâtir un réseau structurant d'investisseurs et à soutenir la croissance de nombreuses startups. Mentor, investisseur et conseiller, il continue d'influencer les politiques d'innovation et de transmettre son savoir aux nouvelles générations d'entrepreneurs.

JULIEN

Julien Camirand Lemyre

Intégrer la correction d'erreurs à même le qubit physique pour fiabiliser les ordinateurs quantiques

Cofondateur et PDG de Nord Quantique, Julien Camirand Lemyre dirige une entreprise sherbrookeuse qui s'attaque à l'un des plus grands obstacles de l'informatique quantique : la correction d'erreurs. Son équipe développe des qubits supraconducteurs intégrant directement la capacité de corriger certaines erreurs au niveau matériel, réduisant ainsi le besoin en ressources pour la correction logicielle. Cette approche pourrait accélérer l'arrivée d'ordinateurs quantiques véritablement utiles à grande échelle. Formé en physique et doté d'une solide expérience en R-D, Julien Camirand Lemyre combine vision scientifique et sens entrepreneurial, positionnant Nord Quantique comme un acteur unique au monde dans ce créneau. En collaborant avec des partenaires industriels et académiques, il contribue à renforcer la place du Québec dans la course mondiale au quantique, tout en démontrant que l'innovation de rupture peut émerger d'un écosystème régional et rivaliser avec les géants technologiques internationaux.

MICHEL

Michel Pioro-Ladrière

Construire l'écosystème quantique sherbrookeois et le renforcer à l'échelle mondiale

Physicien et entrepreneur scientifique, Michel Pioro-Ladrière a été professeur à l'Université de Sherbrooke, où ses travaux sur les qubits semi-conducteurs ont contribué à structurer un pôle de recherche quantique de renommée mondiale. Jusqu'à tout récemment vice-président de Nord Quantique, il a piloté l'entreprise dans ses premiers jalons stratégiques, notamment en la propulsant pour se qualifier à l'initiative DARPA Quantum Benchmarking, une réalisation remarquable pour une startup canadienne. Actif dans le rapprochement entre science fondamentale et innovation industrielle, son parcours illustre la complémentarité entre recherche académique et entrepreneuriat de pointe. En 2025, nommé directeur général de DistriQ, la zone d'innovation quantique du Québec, il fédère désormais les acteurs scientifiques, industriels et institutionnels pour consolider la position du Québec à l'avant-garde de la révolution quantique.

Nord Quantique

Réinventer l'ordinateur quantique grâce à la correction d'erreurs intégrée

Fondée en 2020 à Sherbrooke, Nord Quantique s'attaque à l'un des plus grands verrous de l'informatique quantique : la correction d'erreurs. Alors que les géants comme IBM et Google misent sur des architectures nécessitant plusieurs (voire, des milliers) de qubits physiques pour en obtenir un seul logique, l'entreprise québécoise développe une approche radicalement différente. Ses chercheurs exploitent les codes bosoniques pour encapsuler la redondance directement à l'intérieur de chaque qubit, réduisant ainsi de plusieurs ordres de grandeur les besoins matériels. Cette innovation lui a valu un rayonnement international, confirmé par sa sélection dans l'initiative Quantum Benchmarking de la DARPA, aux côtés des joueurs les plus avancés de la planète.

Les percées se succèdent : première démonstration d'un qubit physique transformé en qubit logique, mise en œuvre d'une tolérance aux fautes précoce, puis création du Tesseract Code, un encodage multimodal structuré comme un hypercube à quatre dimensions capable de détecter et corriger un éventail d'erreurs tout en maintenant une stabilité inédite. Ces résultats ouvrent la voie à des machines compactes, stables et énergétiquement sobres, capables d'offrir une puissance utile à l'échelle des centres de calcul.

Plus qu'une prouesse technologique, Nord Quantique illustre la vitalité de l'écosystème québécois. En s'appuyant sur les forces académiques et industrielles locales, elle démontre que l'innovation de rupture peut émerger d'un ancrage régional et s'imposer sur la scène mondiale.

**Feuille de
route pour le
développe-
ment**

**du secteur
au Québec**

Le Québec possède les leviers pour prendre part à une révolution technologique qui façonnera, tôt ou tard, la prochaine ère économique et géopolitique.

Le développement des technologies quantiques reste entouré d'incertitudes, mais une chose est claire : le potentiel de transformation est immense. Calcul, communications, capteurs : les applications qui se dessinent à l'horizon ont le pouvoir de rebrasser les cartes de secteurs entiers, d'ouvrir de nouveaux marchés et de renforcer la souveraineté des nations qui sauront les maîtriser. Le quantique n'est pas une promesse lointaine : c'est une course déjà lancée, et le Québec a une longueur d'avance à consolider.

Cette avance est le fruit de choix stratégiques implantés au fil des dernières décennies : excellence académique, pôles d'innovation reconnus, écosystème scientifique et industriel interconnecté. Cela dit, elle n'est pas acquise à tout jamais. L'histoire récente montre que notre capacité à transformer un savoir scientifique de calibre mondial en activité économique reste limitée. Ce n'est pas une fatalité. Le Québec a déjà su se réinventer et s'adapter à de nouvelles réalités sociales, géopolitiques et industrielles ; il peut le faire à nouveau.

Investir maintenant, c'est miser sur un levier stratégique de souveraineté, de compétitivité et d'influence pour les décennies à venir. Cela exige de la lucidité et de l'audace : miser sur nos forces, concentrer nos investissements là où l'impact sera maximal, accepter qu'une partie des paris se soldera par des échecs, et surtout, nous ouvrir pleinement aux collaborations et aux talents internationaux. Le Québec peut ainsi non seulement participer à cette révolution, mais y occuper une place de premier plan, en faisant de son écosystème quantique un moteur d'innovation, de croissance et de rayonnement global.

La feuille de route repose sur 4 prémisses

1

L'industrie quantique représente une rupture technologique majeure, bien que son calendrier de déploiement demeure incertain.

3

Le Québec possède des atouts pour en faire partie, en raison de son expertise scientifique et de sa capacité d'alignement institutionnel.

2

Comme dans les précédentes révolutions industrielles, un nombre limité de pôles d'excellence mondiaux concentreront la valeur.

4

Les choix effectués aujourd'hui seront déterminants pour la position du Québec à l'horizon des vingt prochaines années.

Le succès du Québec en quantique repose sur 6 conditions gagnantes.

Une ambition partagée	Une vision commune, mobilisatrice et portée à long terme par les milieux scientifique, industriel et gouvernemental.
Un alignement continu entre recherche et besoins industriels, appuyé par du financement prévisible	Des mécanismes pour susciter l'intérêt du marché, orienter les travaux vers des applications concrètes et créer des ponts durables.
Une implication forte et structurante de l'industrie	Un engagement clair des entreprises à investir dans la R-D, à tester des solutions issues de la recherche publique et à participer activement aux projets structurants de l'écosystème.
Des investissements institutionnels patients	Un appui soutenu sur plusieurs cycles technologiques pour structurer l'écosystème et faire émerger des champions.
Une meilleure tolérance stratégique au risque technologique	La capacité à miser résolument sur certaines approches, en acceptant que toutes ne mèneront pas à des applications viables
Une répartition claire et partagée des rôles, basée sur la complémentarité	Une compréhension conjointe des responsabilités, fondée sur la complémentarité entre les acteurs.

Ce que le Québec a à gagner en misant sur le quantique.

Des retombées économiques concrètes : création d'emplois, croissance du PIB, propriété intellectuelle locale

→ Le marché global du quantique est évalué à 173 G\$ US d'ici 2040

Un leadership scientifique à l'échelle mondiale dans un domaine stratégique

→ Le Canada (incluant le Québec) est au 6^e rang mondial en termes de publications notoires en calcul quantique

La maîtrise de technologies critiques développées localement, avec des applications en défense, cybersécurité et énergie

La structuration d'un écosystème industriel compétitif, ancré sur le territoire

Un levier de transformation économique, avec le potentiel de redéfinir des chaînes de valeur et d'ancrer des investissements stratégiques au Québec.

Des gains de productivité là où les approches classiques atteignent leurs limites

Ce que le Québec a à perdre s'il ralentit.

Le leadership scientifique acquis au cours des 40 dernières années, au profit d'autres nations

Les talents et entreprises formés ici, faute de perspectives locales à la hauteur de leurs ambitions

→ Plus de 1/3 des startups en quantique au Canada sont québécoises (representant +3% des startups en quantique dans le monde).

Le Québec forme aujourd'hui près de 25% des 16 000 diplômés canadiens dans des domaines pertinents pour les technologies quantiques.

L'autonomie sur des technologies sensibles, avec un risque de dépendance stratégique

L'accès aux marchés et aux chaînes de valeur structurées autour des écosystèmes nationaux les plus ambitieux

Le Québec trace une trajectoire ambitieuse pour renforcer son rôle et accroître son influence dans l'économie quantique mondiale.

Pour guider le développement du quantique au Québec, une vision ambitieuse à court terme s'impose, tout en tenant compte du caractère émergent et transformationnel de cette technologie. La vision 2030 trace une trajectoire claire pour les cinq prochaines années, fondée sur la mobilisation stratégique de l'écosystème et la concentration des efforts là où l'impact peut être déterminant.

Le plein potentiel du quantique, encore en construction, repose sur une organisation patiente, structurée et orientée vers le long terme. Les avancées dans ce domaine se mesureront sur plusieurs décennies, nécessitant des choix cohérents, des investissements soutenus et une gouvernance capable d'anticiper les cycles d'innovation.

La vision 2050 vient aligner les décisions actuelles sur la transformation profonde à venir, en positionnant le Québec pour occuper un rôle de premier plan dans l'économie quantique et pour affirmer sa souveraineté, sa compétitivité et son influence à l'échelle internationale.

Vision 2030

À moyen terme, l'industrie quantique québécoise s'articule autour d'un écosystème dont les pôles d'excellence sont stratégiquement alignés, étroitement interconnectés et soutenus de façon concertée par les gouvernements du Québec et du Canada. Ce réseau d'excellence oriente la recherche de pointe vers des enjeux concrets identifiés par des utilisateurs stratégiques, qu'il s'agisse de ministères ou de grandes entreprises technologiques.

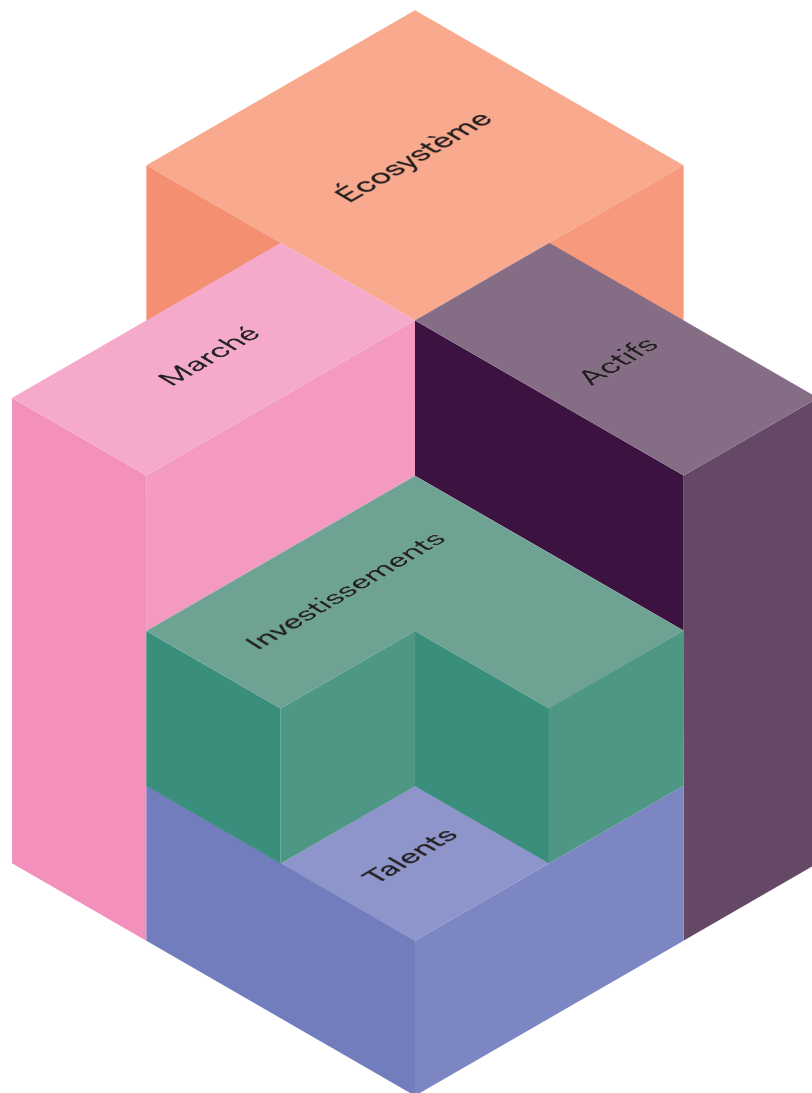
Chercheurs, startups et grandes entreprises y jouent un rôle moteur en propriété intellectuelle et en normalisation technologique, deux leviers déterminants dans une course mondiale où celui qui établit les standards façonne le marché. Grâce à une mobilisation patiente mais résolue, le Québec s'impose comme un acteur structurant de l'architecture quantique mondiale.

Vision 2050

À long terme, le Québec devient un maillon critique des chaînes d'approvisionnement en technologies quantiques. Des entreprises d'ici conçoivent, produisent et exportent des solutions intégrées à partir d'une propriété intellectuelle développée localement et valorisée à l'échelle mondiale.

Cette souveraineté technologique renforce la résilience économique du Canada et lui donne un véritable levier dans les grandes transitions industrielles. Ceux qui auront investi tôt dans l'écosystème quantique québécois n'auront pas simplement soutenu un secteur émergent : ils auront misé sur le plus grand changement de paradigme technologique du troisième millénaire.

Nous proposons que le Québec active 5 leviers complémentaires pour structurer son écosystème quantique et maximiser les retombées de ses investissements.



Hardware first
comme fondement
technologique

Bâtir une **souveraineté**
technologique autour d'une **chaîne**
de valeur stratégique.

Le talent comme levier
stratégique

Former, attirer et retenir une base
de talents alignée sur les **besoins**
réels de la chaîne quantique

La demande comme
déclencheur de marché

Faire émerger un **marché réceptif**
et curieux à l'industrie quantique

Un financement patient
et concerté

Accélérer le **passage TRL 4-7**
et générer des **retombées**
économiques durables

Agir en réseau

Renforcer le **maillage et les**
synergies dans l'écosystème
québécois et canadien pour mieux
s'organiser et faire rayonner
le secteur

Annexes



110

111

Cette feuille de route est le fruit d'une intelligence collective. Elle reflète la vision, l'expertise et l'enthousiasme d'une communauté qui croit au potentiel du Québec dans la prochaine révolution technologique. Chercheurs, entrepreneurs, décideurs publics, investisseurs et bâtisseurs d'écosystèmes ont uni leurs perspectives pour éclairer notre réflexion et ouvrir de nouvelles voies.

Au fil des échanges, une conviction s'est affirmée : c'est par la force du dialogue et la diversité des regards que nous pourrons transformer notre avance scientifique en leviers durables de compétitivité et de rayonnement.

À toutes celles et ceux qui ont partagé leur temps et leur savoir, et tout spécialement aux personnes que nous avons eu le privilège d'interviewer, nous adressons nos remerciements les plus chaleureux.



Visite de Quantum Delta NL et de IXCampus.

- Vincent Aimez**
Vice-recteur à la valorisation et aux partenariats,
Université de Sherbrooke
- Frédéric Barbaresco**
Responsable du segment « Sensing », Thales
- Christian Bassila**
Président, Anyon Systems
- Daniel Bazan****
Directeur, Innovation et Exportations, AIEQ
- Félix Beaudoin**
Directeur général, NanoAcademic Technologies Inc.
- Jacob Biamonte**
Directeur scientifique, École de technologie supérieure
- Mehdi Bozzo-Rey**
Vice-président croissance et partenariats, Distriq
- Valérie Boissonneault****
Directrice administrative, Institut de tenseurs en sciences
et technologies quantique – École de Technologie Supérieure
- François Borrelli**
Directeur général, Numana
- Thierry Botter**
Directeur général, European Quantum Industry Consortium
(EuroQCI)
- Dan Breznitz**
Professeur, Chaire Munk en innovation,
Université de Toronto
- Richard Bruno**
Fellow invité CIRANO, consultant indépendant
- Stephen Cabana****
Directeur adjoint, Service de développement économique,
Ville de Sherbrooke
- Alain Chandonnet****
Président-directeur général, Institut national d'optique (INO)
- John Cigana****
Directeur, Développement de projets, Ngen
- Bill Coish**
Professeur associé, Département de physique,
Université McGill
- Sonia Corriveau**
Directrice, Quantino
- Alexandra Daoud**
Vice-présidente, Affaires réglementaires
et propriété intellectuelle, Anyon Systems
- Nicolas Doiron-Leyraud**
Conseiller stratégique, ministère de l'Économie,
de l'Innovation et de l'Énergie (MEIE)
- Dominique Duquette**
Coach en innovation, Quantino
- Laurence Delisle-Jubenville**
Chargée de projet, Distriq
- Raphaël de Thoury**
Chef de direction - Canada, Pasqal
- Martin Enault**
Entrepreneur en résidence, ÉTS / Cofondateur, Centech

- Olivier Ezratty**
Consultant et cofondateur de Quantum Energy Initiative
- Jean-Christophe Gauthier**
Directeur commercialisation et rayonnement industriel, Optonique
- Nicolas Godbout**
Professeur titulaire, Polytechnique Montréal,
Directeur général, INTRIQ
- Anna Grace Grashuis**
Directrice, programme international, Quantum Delta NL
- Marie-Pierre Ippersiel****
Présidente-directrice générale, PRIMA Québec
- Yoann Jestin**
Président-directeur général, Ki3 Photonics
- Patrick Jeandroz**
Chef R-D, Science des données, IREQ (Hydro-Québec)
- Christophe Jurczak**
Associé directeur, Quantonation
- Eric Kucharsky**
Directeur de projet principal, Technologies numériques,
Investissement Québec
- Martin Laforest****
Associé directeur, Quantacet
- Liette Lamonde****
Directrice générale, Prompt
- Julien Lalane**
Directeur général, iXCampus
- Julie Lefebvre**
Vice-présidente, Technologies émergentes, CNRC
- Charles Lespérance**
Associé, Celesta Capital
- Dominic Marchand**
Cofondateur et président, Irreversible
- Marie-Claude Messier****
Directrice générale, PINQ²
- Roberto Morandotti**
Professeur titulaire, Centre Énergie Matériaux
Télécommunications, INRS
- Julia Muñoz Navarro**
Marketing, Qblox
- Anne Nguyen**
Directrice, Intelligence artificielle,
Conseil de l'innovation du Québec
- Darnius Ornston**
Professeur agrégé, Munk School of Global Affairs & Public Policy,
Université de Toronto
- Thomas Park**
Associé, BDC Fonds pour les technologies profondes
- Michel Pioro-Ladrière**
Vice-président, Partenariats et stratégie, Nord Quantique
- Arno Ricou**
Responsable, Applications quantiques, Quandela
- D' Lawrence Rosenberg**
Président-directeur général,
CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal

- David Roy-Guay**
Directeur général, SBQuantum
- Christian Sarra-Bournet****
Directeur exécutif, Institut quantique, Université de Sherbrooke
- Gilles Savard**
Professeur titulaire, Polytechnique Montréal
- Jean Schmitt**
Président et associé directeur, Jolt Capital
- Suzanne Talon**
Directrice générale, Calcul Québec
- Joël Thibert**
Vice-président, Planification énergétique et stratégie,
Hydro-Québec
- Louise Turner**
Présidente-directrice générale,
Quantum Algorithms Institute

Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM) du Québec

Forces

Expertise scientifique reconnue
Leadership mondial porté par des figures de pointe comme Alexandre Blais & Gilles Brassard, fruit de nombreuses années de recherche continue.

Chaîne de valeur à haut potentiel, de la recherche à la fabrication
Enchaînement cohérent entre recherche fondamentale, prototypage, fabrication (C2MI) et infrastructures partagées (EQ1), structuré autour d'un dispositif fédérateur : la zone d'innovation Distriq.

Écosystème hardware et diversité technologique multiplateforme
Présence d'approches variées (supraconducteurs, photons, atomes neutres), consolidée par des joueurs locaux et internationaux.

Rayonnement des startups locales
Le Québec compte 36% des startups canadiennes en quantique (alors que le Québec = 20% du PIB et de la population canadienne), un indicateur fort de sa capacité d'émergence et de structuration de marché.

Soutien politique et reconnaissance internationale
Appui visible du gouvernement québécois et reconnaissance croissante dans les écosystèmes européens.

Écosystème d'optique-photonique structurant
Présence d'acteurs de calibre international et d'une base de recherche appliquée solide, positionnant le Québec comme un carrefour stratégique pour les technologies quantiques intégrant la photonique.

Effet levier avec l'écosystème IA montréalais
Synergie avec Mila, IVADO et autres pôles d'algorithmie avancée pour accélérer le développement logiciel et les plateformes hybrides.

Faiblesses

Dépendance au financement public et capital privé inadéquat
Faible implication des *family offices* (gestionnaires de grande fortune), du mécénat, et écosystème de *venture capital* (capital de risque) mal adapté au rythme des cycles *deep tech* (technologies profondes).

Faible capacité d'industrialisation et de valorisation de la propriété intellectuelle
Valorisation insuffisante des structures pour les TRL 4–7, transfert difficile vers l'industrie, PI peu mobilisée stratégiquement.

Manque de coordination à l'échelle du Québec
Tensions Sherbrooke–Montréal et message/narratif à clarifier à travers l'écosystème.

Narratif stratégique peu maîtrisé et mobilisation industrielle limitée
Le Québec peine à articuler un récit clair et mobilisateur par rapport à ses forces en quantique, notamment auprès du monde industriel. Ce déficit de positionnement nuit à l'adhésion des acteurs économiques et à l'attraction de partenariats structurants.

Opportunités

Structurer le continuum, de la recherche à l'adoption industrielle
Cartographier les besoins des secteurs prioritaires, structurer les TRL avec un soutien différencié, propulser les organismes de recherche et de technologie (INO, Centre de recherche informatique de Montréal) sur les phases intermédiaires (TRL 4–7), et lancer un programme pilote (inspiration : Qu-Pilot).

Renforcer les technologies habilitantes comme levier stratégique
Soutenir les niches différenciantes : cryogénie, photonique, fabrication de puces spécialisées.

Outils des startups à haut potentiel pour l'exportation et la croissance
Accompagner le développement de compétences entrepreneuriales, faciliter l'accès aux premières commandes, et renforcer leur capacité à croître.

Activer la commande publique et le levier défense
Positionner les besoins gouvernementaux (cybersécurité, infrastructures critiques, défense) comme déclencheurs d'adoption et catalyseurs de maturation technologique.

Consolider des partenariats internationaux stratégiques
Renforcer les collaborations internationales, notamment avec la France, les Pays-Bas et le Royaume-Uni, pour attirer les talents et structurer des projets d'envergure ; soutenir ces efforts par des événements phares (ex : sommets annuels, etc.).

Menaces

Faible capacité du Canada/du Québec à agir comme acheteur stratégique
Les gouvernements prennent typiquement peu de risques en premier, ce qui se traduit par un usage limité des commandes publiques en cybersécurité, défense et infrastructures critiques, comparé à l'Europe ou aux États-Unis.

Difficulté à intégrer de grandes entreprises/de grands industriels
La réalité québécoise se caractérise par un nombre limité de grandes entreprises, et à l'échelle canadienne, une aversion au risque freine l'investissement privé dans des technologies complexes à horizon incertain.

Pression internationale sur les talents et freins migratoires internes
Les pays nordiques et asiatiques recrutent activement à l'international, tandis que des politiques comme la Loi 74 freinent l'arrivée d'étudiants étrangers en STIM, nuisant au renouvellement de l'écosystème québécois.

Incertitude politique sur la pérennité des zones d'innovation
Risque de désengagement en cas de changement de gouvernement ou de priorités, absence de mécanismes structurants à long terme.

Fondé en 2015, VOLUME10 est un cabinet-boutique en conseil de management et stratégie qui allie l'agilité d'un startup à l'expertise des grands cabinets internationaux. Composée majoritairement d'ingénieurs formés dans les plus grandes écoles mondiales et renforcée par un réseau d'experts en économie, droit, santé et ethnographie, notre équipe excelle dans les projets complexes où la solution n'est pas immédiatement apparente. Cette configuration unique nous permet de relever les défis stratégiques et opérationnels de nos clients en leur offrant des solutions sur mesure rigoureusement adaptées à leurs besoins spécifiques.

VOLUME10

Document conçu et réalisé par VOLUME10
www.volume10.com

Co-direction de projet
Félix-Antoine Joli-Coeur, Béatrice Girardin
et Arianne Boulais

Révision et traduction
Mathieu Lamarre

Mise en page
Caserne

Dépôt légal, Bibliothèque
et Archives nationales du Québec, 2025



VOLUME10



VOLUME10