



Défense nationale National Defence



FORCES ARMÉES CANADIENNES

STRATÉGIE S et T

quantique

DU MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE ET DES FORCES ARMÉES CANADIENNES :
SE PRÉPARER À DES RUPTURES TECHNOLOGIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT OPÉRATIONNEL FUTUR



Canada 

D2-433/2020F-PDF
978-0-660-36386-8
DGM-61120-DD8

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos.....	4
Contexte.....	5
Démarche stratégique	10
Conclusion	16
Références.....	17
Acronymes.....	17

La science et technologie (S et T)

a toujours joué un rôle clé pour répondre aux besoins en matière de défense nationale et de sécurité, les technologies émergentes offrant souvent des avantages tactiques décisifs. Le rythme des changements et l'émergence d'une nouvelle classe de technologies quantiques se sont considérablement accélérés au cours des dernières années et ont le potentiel d'influencer et de perturber l'environnement de sécurité.

Tandis que ces technologies évoluent, le ministère de la Défense nationale (MDN) et les Forces armées canadiennes (FAC) doivent eux aussi évoluer. Pour ces raisons, je suis fière de présenter la *Stratégie S et T quantique du MDN et des FAC : se préparer à des ruptures technologiques dans l'environnement opérationnel futur*. Cette stratégie tirera profit des importants travaux déjà accomplis par le ministère dans le secteur de la S&T quantique, et alignera les travaux futurs avec les besoins du MDN et des FAC.

La *Stratégie en matière de S et T quantique* permettra au MDN et aux FAC d'adopter une approche stratégique dans ce domaine émergent, qui elle se reposera sur trois piliers. Premièrement, la stratégie aidera le MDN et les FAC à sortir les technologies quantiques du laboratoire pour les intégrer aux capacités de défense déployables, en se concentrant d'abord et avant tout sur les technologies ayant l'impact le plus immédiat et important sur les FAC. Deuxièmement, parce qu'elle reconnaît l'étendue et la complexité des technologies quantiques, la stratégie encourage l'établissement et l'utilisation de partenariats solides avec les autres organismes fédéraux, les institutions universitaires, l'industrie canadienne et les partenaires internationaux, afin que le MDN et les FAC puissent profiter d'une approche exhaustive de la recherche quantique. Troisièmement, la stratégie améliorera la cohérence des investissements en S&T quantique au sein de l'Équipe de la Défense, en mettant sur pied une capacité de recherche interne et un capital humain de manière à ce que nous ayons les ressources nécessaires pour demeurer dans le coup au 21^e siècle et au-delà.

Cette stratégie permettra à l'Équipe de la Défense de bien se préparer à faire face aux difficultés posées et à saisir les opportunités occasionnées par les technologies quantiques, tout en soutenant l'écosystème quantique universitaire et industriel du Canada, qui se porte déjà très bien.

Isabelle Desmartis
SMA(RDDC)

Le ministère de la Défense nationale (MDN) et les Forces armées canadiennes (FAC) doivent

se préparer



à un environnement de défense et de sécurité à venir qui comprend des capacités avancées fondées sur des technologies quantiques transformatrices, et être prêts à se protéger contre celles-ci. La présente stratégie vise à assurer que ces technologies sont accessibles au MDN et aux FAC et qu'elles se prêtent à une adoption rapide.

Le gouvernement du Canada a beaucoup investi au cours des deux dernières décennies dans la science et la technologie (S et T) quantique, et le Canada est actuellement l'un des meneurs en recherche et en découvertes de ce domaine. Le MDN/les FAC peuvent donc faire appel et influencer un grand nombre de chercheurs sans devoir bâtir l'infrastructure élaborée et spécialisée nécessaire à la recherche fondamentale ni le groupe d'ingénieurs spécialisés voulu pour appliquer les technologies quantiques. Le MDN et les FAC peuvent donc porter leur attention sur la S et T canadienne tirant parti de l'expertise et des avantages les plus prometteurs pour créer des capacités en défense et en sécurité améliorées. La stratégie cernera les domaines où investir et décrira comment le MDN/les FAC créera l'expertise appropriée et exploitera ses partenariats afin d'accélérer le développement de technologies quantiques pour la défense et la sécurité.

Le Canada est certes à la fine pointe de la S et T quantique, mais avec des investissements ciblés, d'autres pays menacent sa position. Or, les conséquences pour le Canada de laisser d'autres pays prendre les devants risquent d'être lourdes, car les technologies quantiques seront probablement une source de croissance importante dans l'économie mondiale du futur. Le MDN et les FAC risquent de voir d'autres pays déployer des technologies quantiques leur donnant des capacités que le Canada serait incapable d'égaliser ou de combattre. Ce risque est particulièrement élevé, car nos adversaires potentiels investissent beaucoup dans de nouvelles capacités multidomaines pour défier l'avantage militaire de l'Occident.

INTRODUCTION

La théorie de la mécanique quantique

a été énoncée il y a plus d'un siècle, et elle est maintenant reconnue comme la théorie la plus importante et la plus exacte en physique moderne. Elle est toutefois restée obscure pendant de nombreuses décennies vu ses assises peu intuitives, la complexité de la réalisation des expériences, et les difficultés à communiquer ses principes sans recourir à un jargon très technique. On a dit qu'il n'est réellement possible de décrire ses deux aspects les plus importants et les plus déconcertants, soit la superposition et l'intrication [voir la figure 1], qu'à l'aide des mathématiques. Or, ce sont justement ces deux propriétés qui sous-tendent des technologies déjà transformatrices, et d'autres qu'on peut entrevoir.

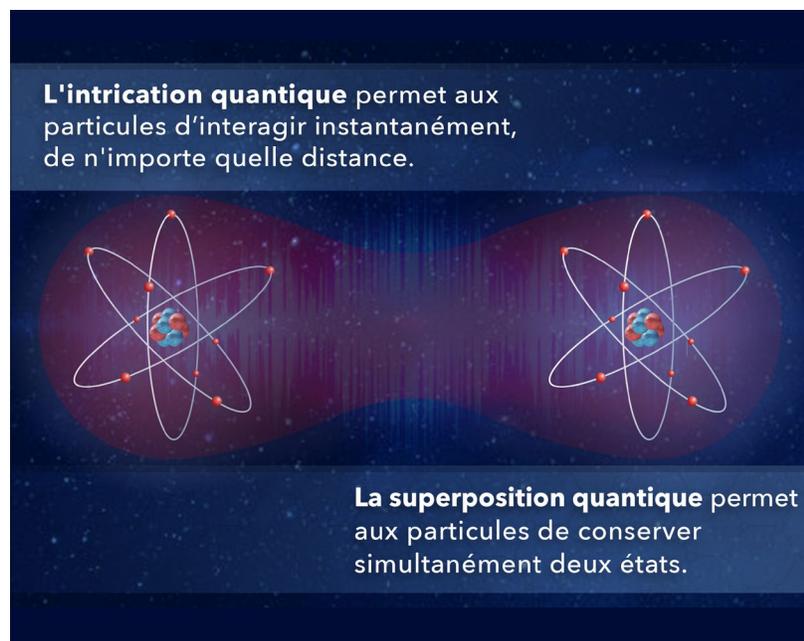


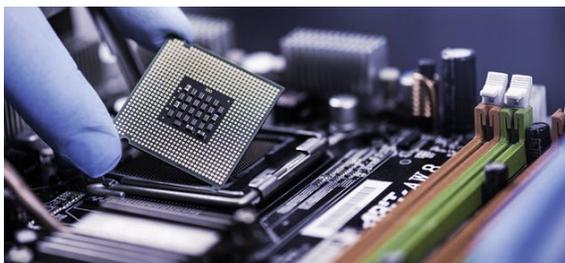
Figure 1 : Définitions de l'intrication quantique et de la superposition quantique

Technologies quantiques 1.0

La première génération des technologies quantiques a révolutionné les capacités de défense et de sécurité et profondément transformé la société. Les deux exemples les plus pertinents de technologies dépendant fondamentalement des effets quantiques (qu'on appelle maintenant les technologies quantiques 1.0)¹, sont le laser et le transistor : les assises de notre époque numérique et des technologies habilitantes d'une vaste gamme d'autres technologies [voir l'encadré 1].

Au cours de la dernière décennie, les vulgarisateurs scientifiques ont beaucoup parlé de la mécanique quantique, et surtout à cause de l'intérêt du public sur l'informatique quantique, l'expression est entrée dans la langue populaire. Aussi, la première génération des technologies quantiques a poursuivi son développement rapide, et elles sont devenues des technologies habilitantes incontournables des percées technologiques nécessaires à la prochaine révolution quantique.

ENCADRÉ 1

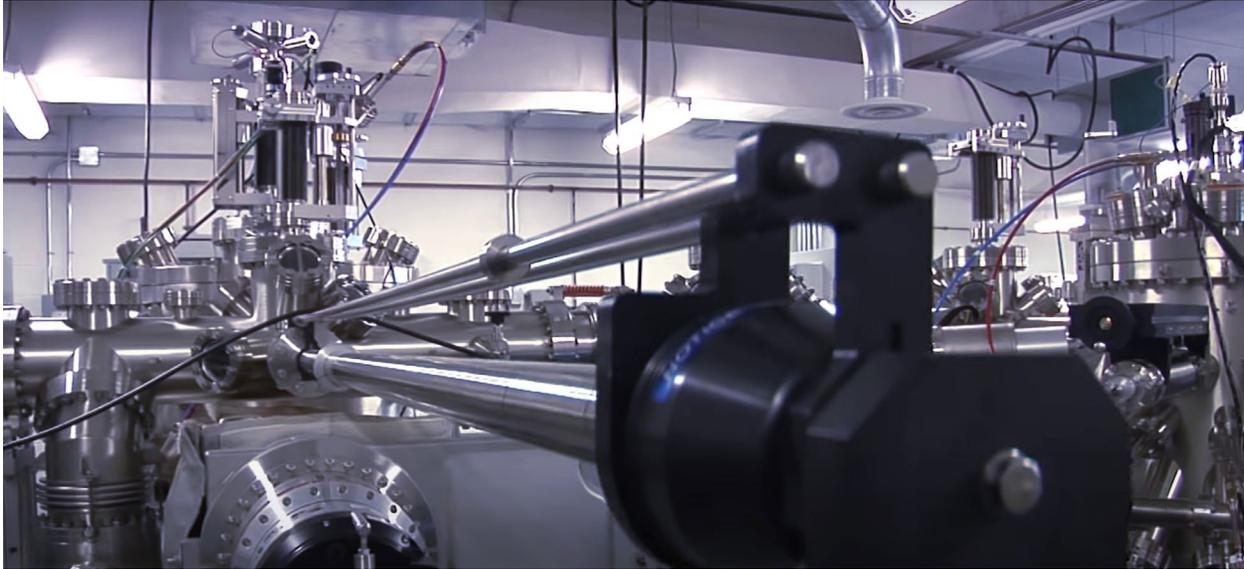


La première révolution quantique a révélé de nouvelles règles qui régissent le réel. Un exemple de description physique transformatrice, une fois maîtrisé, a mené à l'invention du laser, et des circuits et des puces électroniques.



La deuxième révolution quantique permet de contrôler et de manipuler avec précision les propriétés quantiques de la lumière et de la matière que l'ingénierie commence à appliquer concrètement.

¹ J. P. Dowling and G. J. Milburn, *Quantum Technology: The Second Quantum Revolution*, 2002. Au bout du compte, tous les phénomènes naturels ont des bases quantiques, mais si on peut décrire une technologie assez fidèlement à l'aide de la physique classique (préquantique, donc), celle-ci n'est pas jugée comme faisant partie des technologies quantiques 1.0.



Crédit : Université de Waterloo

Technologies quantiques 2.0

Une nouvelle génération de technologies, les technologies quantiques 2.0 (abrégées ici en TQ2), a émergé au cours des quinze dernières années grâce à un contrôle plus étroit de l'isolation et des modifications de systèmes quantiques délicats. On entend par les TQ2 une classe de dispositifs qui créent, modifient et lisent les états quantiques de la matière, le plus souvent à l'aide des effets quantiques de superposition et d'intrication [1]. Parmi les systèmes des TQ2, on peut compter des matériaux créés en contrôlant précisément l'emplacement des atomes, la création et la stabilisation d'états subtils de la matière à l'aide de lasers extrêmement précis, ou le chiffrement de données dans des atomes ou un seul photon. Ces systèmes ont des caractéristiques uniques de contrôle et d'exploitation de propriétés de la matière auparavant inaccessibles, ce qui rend possibles des capacités étonnantes comme des ordinateurs quantiques pouvant résoudre rapidement des problèmes impossibles pour un ordinateur traditionnel.

Pour l'instant, la plupart des validations de principe et des applications préliminaires sont confinées aux laboratoires d'universités et du Conseil national de recherches du Canada (CNRC); elles exigent une infrastructure coûteuse, un équipement spécialisé, des équipes d'experts et de vastes locaux. Cependant, dans quelques domaines où la défense a commencé à investir, la transition hors du laboratoire des technologies quantiques 2.0, et donc la création de prototypes, a débuté.

La mécanique quantique en défense et en sécurité

Les technologies quantiques promettent d'apporter des améliorations considérables dans des domaines d'intérêt connu pour la défense et la sécurité. Nous prévoyons que les domaines suivants seront les plus profondément transformés : la détection [notamment en positionnement, navigation et synchronisation (PNS)], les communications, l'informatique, et le développement de nouveaux matériaux. En parallèle, comme nos adversaires vont aussi exploiter les technologies quantiques à leurs propres fins, cela va influencer sur les tactiques, les techniques et les procédures que l'Équipe de la Défense devra employer pour atteindre sa mission.

La détection quantique est un excellent exemple de la variété et de l'utilité des applications quantiques qui ne sont pas encore tout à fait prêtes, mais qui devraient d'ici cinq ans révolutionner le monde de la défense et de la sécurité. Comme les systèmes quantiques sont extrêmement sensibles aux perturbations, ils se prêtent très bien aux applications de base de détection pour la défense et la sécurité. Par exemple, les systèmes quantiques peuvent détecter des champs électriques et magnétiques, des variations de la gravité, des vibrations ou un mouvement infiniment plus faibles que les systèmes actuels. Quand ces technologies émergeront du laboratoire, elles permettront notamment des capacités comme :

- des capteurs gravimétriques pouvant détecter des tunnels ou des objets de l'autre côté d'un mur;
- des capteurs électromagnétiques compacts et à large bande pouvant remplacer et même surpasser les systèmes à antennes multiples;
- des radars anti-furtifs difficiles à détecter et à brouiller;
- des techniques de télédétection précises et furtives pouvant pénétrer la fumée et « voir » de l'autre côté d'un coin;
- la détection de teneurs extrêmement légères de produits chimiques et de rayonnement à une distance et une sensibilité impensables avec les techniques actuelles;
- des horloges et des capteurs inertiels pouvant rester assez précis pour les applications de défense dans des environnements où la géolocalisation par le système mondial de localisation (GPS) est inopérante, comme sous l'eau et sous terre.

Certaines de ces technologies potentielles pourraient résoudre des problèmes présents et émergents en défense, comme le besoin d'une surveillance plus étroite du vaste Arctique canadien et des voies d'entrée aérospatiales et maritimes au Canada et en Amérique du Nord. Les nombreuses applications potentielles des technologies quantiques laissent envisager des capacités de surveillance multidomaines dans le cadre d'un « système de systèmes » imbriquées qui donnera aux FAC et au Commandement de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord (NORAD) des capacités novatrices en connaissance de la situation dans tous les domaines.

Mais les capteurs quantiques ne sont pas les seules technologies d'intérêt pour la défense et la sécurité. Les communications quantiques, par exemple, promettent des communications secrètes anti-mystification, la résistance contre le brouillage, et la distribution sécurisée des clés. De même, l'informatique quantique permettrait de résoudre certains types de problèmes que les ordinateurs actuels ne peuvent calculer, comme la logistique axée sur l'optimisation et le décryptage de la plupart des protocoles de cryptographie utilisés actuellement. Cependant, pour toutes ces technologies, la transition hors du laboratoire vers des prototypes suivis de la création d'équipement utilisable sur le terrain reste un problème scientifique et technique complexe.

Actuellement, pouvoir faire passer les technologies quantiques à des niveaux de maturité technologique (NMT) plus élevés est une question de concurrence mondiale; cela ne rend que plus important le besoin de protéger les recherches et les innovations canadiennes dans ce secteur.

Les applications des technologies quantiques en défense et en sécurité sont reconnues par nombre d'autres pays. Les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Allemagne et la Chine ont déjà lancé des stratégies nationales d'envergure en technologie quantique alignées avec leurs intérêts en défense. La Chine, particulièrement, s'est hissée parmi les chefs de file en S et T quantique, et a beaucoup investi dans des secteurs qui promettent des capacités militaires nouvelles et améliorées. Égaler et contrer ces capacités est de grande importance pour notre défense.

Le portrait quantique canadien

La recherche fondamentale en mécanique quantique, financée au début par des investissements fédéraux et provinciaux, mais aussi philanthropiques, a permis au Canada de devenir un chef de file mondial. La science quantique fait partie intégrante de la stratégie nationale en sciences et en technologie exprimée dans *Un moment à saisir pour le Canada : aller de l'avant dans le domaine des sciences, de la technologie et de l'innovation* (2014) [2] et l'informatique quantique est identifié comme l'un des domaines numériques importants du programme d'innovation national exprimé dans *Canada : une nation d'innovateurs* (2016) [3]. Cette excellence et cette expertise en recherche quantique doublées du dynamisme de l'entrepreneuriat canadien en technologie [4] laissent prévoir un environnement prometteur pour l'innovation de pointe en technologies quantiques.

Le Canada a beaucoup à gagner de son héritage dans le développement des technologies quantiques. On prévoit que d'ici 2040, le secteur émergent de l'industrie quantique contribuera sensiblement à l'économie, c'est-à-dire de 1,7 à 3,4 % du produit intérieur brut (PIB) [4]. Les revenus prévus de ce secteur devraient égaler ceux que le secteur de l'aérospatiale, l'industrie canadienne la plus intensive en R et D, contribue aujourd'hui à l'économie canadienne. Cette croissance rapide laisse toutefois entrevoir des pénuries de main d'œuvre en personnel pluridisciplinaire qualifié et formé en technologies quantiques, pour les secteurs privé et public du Canada et dans le monde entier [5].

Le ministère de la Défense nationale entend adopter une optique exhaustive pour que le MDN/les FAC puissent

convertir les technologies quantiques en capacités militaires.



Cela signifie prévoir et évaluer les répercussions militaires des technologies quantiques, cerner les domaines d'intérêt pour la défense de la science, des technologies et des innovations quantiques, et créer les conditions qui permettent d'accélérer l'application sur le terrain des technologies quantiques. La réussite des missions de défense se décidera aussi en fonction de notre compréhension et notre exploitation des vulnérabilités entraînées par les technologies quantiques et de la protection de nos investissements en technologies quantiques, en veillant à empêcher nos ennemis de s'emparer des recherches, de la propriété intellectuelle (PI) ou des technologies financées par le MDN/les FAC dans le cadre de la Stratégie. Pour réussir, la stratégie reposera sur trois piliers, afin d'assurer que le MDN reste au fait des recherches de pointe en développement des technologies quantiques et qu'il peut tirer parti efficacement de ces technologies au fur et à mesure de leur développement :

1. Appliquer les technologies quantiques à des capacités de défense;
2. Établir et maintenir des partenariats solides en technologies quantiques;
3. Investir de façon cohérente, dans l'ensemble du MDN/des FAC, dans la science, les technologies et les innovations quantiques.

Réussir la mise en œuvre de cette stratégie dépendra des activités habilitantes exposées dans chaque pilier.

Premier pilier :

Appliquer les technologies quantiques à des capacités de défense

La situation du MDN/des FAC impose des exigences et spécifications uniques pour pouvoir appliquer les technologies sur le terrain. Le Ministère doit garantir la fiabilité des capacités quantiques dans toutes les conditions environnementales de défense et de sécurité, y compris le déni, la tromperie et l'application de contre-mesures. Communiquer tôt à la communauté de recherche en mécanique quantique les lacunes et exigences touchant la défense aidera à orienter la S et T quantique vers la création de capacités applicables sur le terrain.

1.1 Canaliser les efforts vers les capteurs quantiques

Les capteurs sont des technologies vitales à la connaissance de la situation et à l'aide à la décision. Le Canada a déjà un avantage en S et T sur les capteurs quantiques, mais sans l'influence et l'orientation du MDN/des FAC, la prochaine génération de

capteurs quantiques ne mènera pas en temps opportun à des capacités assez fiables pour être utilisées sur le terrain. Le développement de capteurs quantiques robustes devant fonctionner vite et furtivement en théâtres d'opération ou dans des conditions difficiles doit commencer tôt. Pour veiller à l'atteinte des besoins opérationnels, le MND et les FAC entendent entrer en dialogue avec la communauté de chercheurs canadiens en mécanique quantique, y compris ceux travaillant pour le gouvernement, afin d'intégrer ces recherches aux objectifs de recherche actuels du MDN et à terme leur application par les FAC. En intégrant les capteurs quantiques aux capacités de défense, le MDN/les FAC ne souffriront pas d'un désavantage technologique dans la préparation et l'exécution des missions.

MESURE N° 1 :

Focaliser les premiers efforts sur les applications des capteurs quantiques, pour tirer parti des assises solides du Canada dans ce domaine et bâtir une expertise et des capacités de pointe en capteurs quantiques.

1.2 Développer la robustesse et des contre-mesures aux technologies quantiques

Les technologies quantiques peu robustes sont inutiles au MDN et aux FAC; il faut donc bien comprendre les capacités et les vulnérabilités des technologies quantiques. Le MDN doit orienter la S et T vers la robustesse, notamment le déni et la tromperie en tant que contre-mesures visant les technologies quantiques déployées contre nous. Ces aspects des technologies sont d'intérêt propre à la défense et la sécurité, et ils seront ignorés sans la direction et l'orientation du MDN/des FAC. Les évaluations des vulnérabilités et de l'exploitation actuelles des technologies quantiques informeront les analyses opérationnelles et les décisions du MDN sur le programme de S et T intégré.

MESURE N° 2 :

Évaluer les menaces et vulnérabilités que peuvent introduire les technologies quantiques à leur utilisation sur le terrain.

1.3 Accélérer l'application pratique des capacités quantiques

Pour développer la prochaine génération de technologies transformatrices, la S et T quantique est nécessaire à tous les paliers (recherche fondamentale

comme applications pratiques). Le MDN peut fournir des environnements protégés et exploiter les essais de S et T sur le terrain pour faire des essais en environnements réalistes afin de rehausser les niveaux de préparation technologique des technologies quantiques. Pour atteindre ces objectifs, des projets conjoints, des expériences et des mises à l'essai avec des partenaires de l'étranger seront tous utiles, et permettront au MDN/aux FAC d'être prêts à exploiter les technologies quantiques en temps opportun.

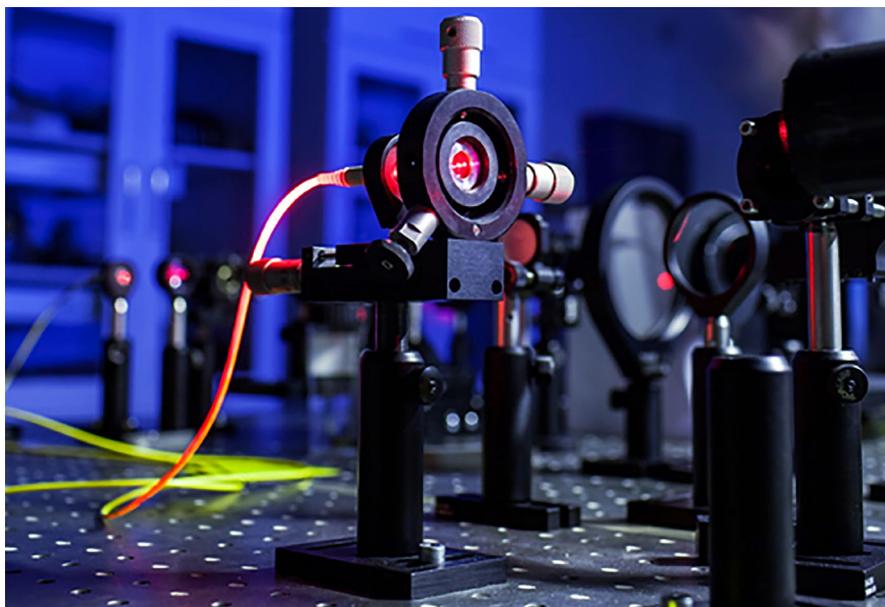
MESURE N° 3 :

Donner une importance stratégique à habiliter et favoriser l'émergence des technologies quantiques hors du laboratoire sous forme de prototypes utilisables sur le terrain.

Deuxième pilier :

Établir et maintenir des partenariats solides

Les partenariats sont vitaux si l'on veut accélérer l'adoption des technologies quantiques. Ce domaine est vaste et profond, et il englobe un grand nombre de compétences très techniques. Chaque pays a ses propres avantages, selon ses investissements au cours des décennies. En outre, les technologies quantiques sont uniques, car il n'est pas rare qu'une avenue prometteuse soit soudainement surpassée par une autre; il importe donc de faire des recherches simultanées sur autant de techniques que possible, pour ne rien manquer. En informatique quantique, les grandes multinationales ainsi que les petites et moyennes entreprises font de lourds investissements dans diverses avenues, malgré le risque qu'au bout du compte, aucune d'entre elles ne prévaille. Ce risque, soit de parier sur un cheval perdant, est élevé, quoique



qu'il ne faille pas sous-estimer la formation du personnel hautement qualifié (PHQ) qui reste valable même en cas d'échec. Il est toutefois possible d'atténuer ce risque par des partenariats stratégiques avec d'autres acteurs du domaine sur un grand nombre de technologies, et ainsi diluer les risques et partager les réussites. Tous ces partenariats aideront le MDN à raffermir sa propre expertise et poursuivre des objectifs de S et T complémentaires.

2.1 Établir et maintenir des partenariats stratégiques intragouvernementaux

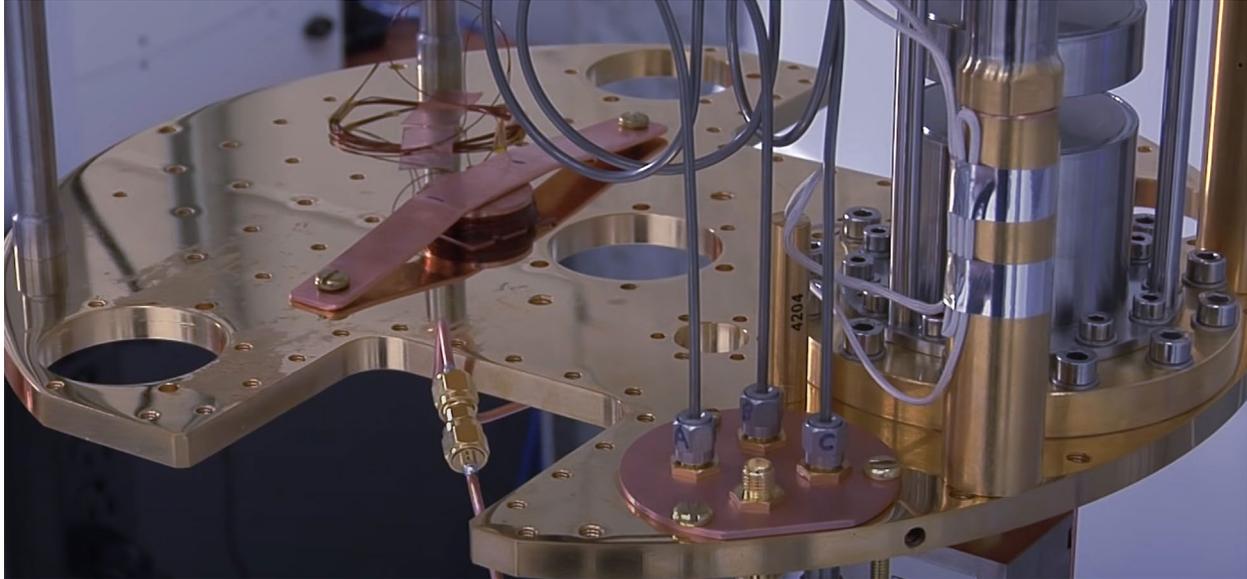
Le CNRC est reconnu comme l'un des chefs de file en S et T quantique, et il mène les efforts du gouvernement fédéral de coordination des efforts et des conseils sur les technologies quantiques. Tout d'abord, le MDN formera un partenariat stratégique avec le CNRC, et pourra ainsi profiter de son expertise et de ses installations de calibre mondial et de ses impressionnants réseaux universitaires et industriels. Par cette collaboration, le MDN restera au fait des recherches de pointe et des niveaux de préparation des technologies quantiques, tout en formant son propre personnel très qualifié et en établissant des liens avec la communauté de recherche en mécanique quantique d'ici et d'ailleurs. Cela permettra au MDN d'évaluer en continu les répercussions des technologies quantiques sur la défense et la sécurité, afin d'éclairer et d'orienter la mise en place de ses capacités, programmes et politiques en technologies quantiques. Le CNRC, en contrepartie, bénéficiera de l'accès aux questions vitales en défense et en sécurité, et pourra orienter ses

programmes de recherches en conséquence, pour se pencher sur les besoins prioritaires du Canada et ses alliés en défense et en sécurité.

Le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) du CNRC pourra dans le cadre de ce partenariat jouer un rôle particulièrement utile. Le PARI dispose d'une grande équipe de veille stratégique, et il peut aider considérablement à établir des liens entre l'industrie de la défense et le gouvernement, à cerner les projets en R et D en défense novateurs et commercialisables axés sur les lacunes en défense et en sécurité et en accélérer le développement, et à faciliter le transfert des technologies quantiques.

Le MDN collaborera aussi avec d'autres ministères fédéraux, par l'intermédiaire du comité de coordination des sous-ministres adjoints (SMA) sur la science et la technologie quantique. Ce comité des SMA vise à renforcer les efforts fédéraux par la coordination et la mise en valeur de l'expertise du gouvernement fédéral dans des projets conjoints et des partenariats qui aident de plusieurs organisations. Si par exemple des technologies quantiques peuvent aider à la défense, la sécurité et la sécurité publique, nous pourrions tirer parti du partenariat entre le MDN et Sécurité publique Canada établi à l'aide de Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC), du Centre des sciences pour la sécurité (CSS) et du Programme canadien pour la sûreté et la sécurité (PCSS). L'informatique quantique, notamment les algorithmes cryptographiques anti-quantiques, constitue un autre exemple : nous pouvons rester au fait de leur développement par notre partenariat avec le Centre de la sécurité des télécommunications (CST).





Crédit : Université de Waterloo

MESURE N° 4 :

Établir un solide partenariat stratégique avec le Conseil national de recherches du Canada. Implanter des chercheurs au CNRC, et tirer parti de son expertise de calibre international et de ses réseaux pour appuyer le développement et la prestation des projets.

2.2 Positionner le MDN, par l'intermédiaire de Recherche Canada, comme un partenaire fédéral fiable de l'écosystème quantique canadien

Le MDN collaborera étroitement avec d'autres organismes fédéraux, le milieu universitaire et l'industrie pour développer les technologies quantiques canadiennes dans les secteurs d'intérêt national. Outre les investissements par son programme existant de S et T, le MDN participera au système d'innovation quantique par des mécanismes comme le programme Innovation pour la défense, l'excellence et la sécurité (IDEeS) et le PCSS dans le but d'aider à stimuler tant le développement et la transition de travaux prometteurs que l'industrie quantique canadienne émergente. Ces programmes serviront à faire l'essai de technologies quantiques dans des tests articulés autour de problèmes de défense et de sécurité, ce qui ancrera le MDN dans le secteur quantique canadien. Le MDN jouera de plus un rôle vital dans

l'élaboration de la stratégie quantique nationale, afin de contribuer à un investissement national en technologies quantiques canadiennes pour la défense. Cela renforcera la sécurité économique et militaire canadienne par le développement et l'appui d'une capacité industrielle propre.

MESURE N° 5 :

Positionner le MDN pour qu'il stimule l'innovation en S et T quantique en vue de capacités de défense, par la collaboration nationale et un partenariat avec Innovation, Sciences et Développement économique (ISDE) pour les investissements en science, technologies et innovations quantiques.

2.3 Tirer parti des partenaires étrangers en défense

Les membres du Groupe des cinq ont tous de solides programmes nationaux de recherche en mécanique quantique. D'autres alliés du Canada au sein de l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN) investissent aussi significativement dans les technologies quantiques. Le MDN collaborera avec ses partenaires étrangers en défense, dans le but de partager le fardeau que constitue la stimulation du développement et de l'intégration des technologies quantiques appropriées aux environnements de défense, de sûreté et de sécurité. Avec ses

partenaires en défense et en sécurité, le MDN participera au développement et au partage des normes émergentes afin d'assurer l'interopérabilité, l'assurance des capacités et la robustesse en environnements hostiles [6]. Avec un programme solide de S et T quantique qui favorisera une R et D efficace, le MDN permettra au Canada d'avoir accès et de contribuer à une R et D quantique alliée de calibre international.

MESURE N° 6 :

Investir en S et T quantique de pointe afin de contribuer au développement de technologies quantiques mutuellement utiles, d'y avoir accès et d'en tirer parti, et ainsi accélérer le développement des technologies quantiques pour en faire bénéficier nos alliés.

Troisième pilier :

Investir de façon cohérente, dans l'ensemble du MDN/des FAC, dans la S et T quantique

Le ministère de la Défense nationale investit déjà dans les technologies quantiques, par son programme interne de S et T intégré. Les investissements continus touchant la défense doivent s'harmoniser à la politique canadienne sur la défense (*Protection, Sécurité, Engagement* [7]) et cibler les secteurs ayant besoin d'assistance pour créer de nouvelles des capacités de défense. Ces investissements devraient se conformer à une feuille de route informée sur les technologies quantiques et faire participer l'écosystème d'innovation quantique, par des défis ou concours conformes aux priorités de S et T en défense. Dans ces investissements, il faut prévoir des protections de la recherche, de la propriété intellectuelle et des technologies qui en découlent, conformément aux conseils sur la science ouverte énoncés par le gouvernement du Canada.

3.1 Bâtir une capacité d'exploitation des technologies quantiques

Le MDN établira et maintiendra une équipe de base de personnel très qualifié connaissant en profondeur tant les technologies quantiques que le contexte de

défense et de sécurité canadien. Une équipe élargie comptera des experts en science de la défense qui exécutent les programmes actuels en S et T pour la défense, et qui ensemble comprendront tous les aspects des technologies quantiques, leur pertinence aux besoins en défense, et comment exploiter ces technologies.

3.2 Renforcer pour les technologies quantiques la planification fondée sur des données probantes

Afin de mieux prévoir, de s'adapter et d'agir dans un environnement de technologies et d'applications quantiques qui évolue rapidement, le MDN a besoin de conseils scientifiques sur les recherches de pointe qu'il pourra intégrer à sa planification des capacités de défense. Le Ministère pourra relever, surveiller et évaluer les répercussions des technologies quantiques émergentes sur les systèmes et stratégies de défense existants (défense, offense, contre-mesures et technologies habilitantes) et intégrer cette analyse pour mieux éclairer les possibilités en défense qu'elles présentent et le portrait des menaces. Le MDN pourra aussi profiter des prévisions et feuilles de route technologiques de ses partenaires, et tirer parti des analyses des autres organisations fédérales et étrangères en S et T pour la défense afin d'approfondir sa compréhension des technologies quantiques émergentes utiles et mieux les appliquer.

La feuille de route en évolution du Ministère sur les technologies quantiques tiendra compte des forces relatives et des secteurs d'intérêt de ses partenaires d'ici et d'ailleurs, et de leurs propres intérêts et percées en technologies quantiques. Cette feuille de route servira à informer et orienter les investissements en science, technologie et innovation en défense en fonction des priorités de défense et pour en maximiser la valeur dans l'optique de la coalition.

MESURE N° 7 :

Renforcer la capacité quantique interne du MDN/des FAC, afin d'évaluer l'utilité et les répercussions des technologies quantiques dans le contexte de défense et de sécurité; de conseiller sur les investissements en science, technologie et innovation quantique, notamment des recommandations sur les secteurs où l'intégration exigera une capacité interne accrue; et de permettre au MDN de contribuer aux efforts alliés et d'en profiter.

CONCLUSION



Les technologies quantiques
vont certainement

transformer

l'environnement de défense et de sécurité. Les piliers décrits dans la présente stratégie appuient des objectifs importants pour la défense, notamment celui d'éviter que le Canada prenne un retard technologique par rapport à ses adversaires potentiels. Axer nos efforts sur la détection quantique appuiera le mandat unique du MDN de défendre la souveraineté du Canada sur un immense territoire et les voies d'accès maritimes et aérospatiales à celui-ci. Une participation dès le départ à l'écosystème de S et T quantique canadien permettra au MDN d'assurer que les priorités propres à la défense, comme la robustesse, l'assurance et les contre-mesures, sont bien comprises et prises en compte dans le développement de ces technologies. Des partenariats stratégiques avec le CNRC, mais aussi avec le NORAD, le Groupe des cinq et nos alliés de l'OTAN, permettront d'exploiter les avantages nationaux et étrangers pour mettre en œuvre des projets conjoints touchant toutes les technologies quantiques d'utilité pour la défense. Des investissements ciblés, éclairés et bien planifiés pourront mener plus rapidement et efficacement à des capacités de défense novatrices et améliorées.

Le MDN a la possibilité de mener et d'accélérer de façon responsable le développement de technologies quantiques émergentes, par des investissements ciblés en science, technologie et innovation chez ses partenaires fédéraux, universitaires et industriels. Avec sa propre stratégie en S et T quantique, le MDN est aussi en bonne

position pour orienter la stratégie nationale en R et D quantique qui, par investissements et à l'aide d'une main d'œuvre très qualifiée, permettra au Canada de créer son propre secteur industriel quantique dynamique. La sécurité économique de ce secteur sera une priorité nationale, et la défense y jouera un rôle primordial.

RÉFÉRENCES

- [1] J.P. Dowling et G.J. Milburn, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **361**, 1655 (2003).
- [2] Industrie Canada, *Un moment à saisir pour le Canada : Aller de l'avant dans le domaine des sciences, de la technologie et de l'innovation 2014* (Gouvernement du Canada, Canada, 2014).
- [3] Innovation, Sciences et Développement économique Canada, *Un Programme d'innovation inclusif : État actuel* (Gouvernement of Canada, 2016), p. 35.
- [4] R. Clayton et D. Senik, *Quantum Canada: Socio-Economic Impact Assessment* (le Canada quantique : évaluation des répercussions socio-économiques) (Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario, 2017), p. 82.
- [5] C. Leddy, *Q&A: The talent shortage in quantum computing*, (questions et réponses : la pénurie de talent en informatique quantique) (MIT News, 2019).
- [6] R et D pour la défense Canada, *Science et technologie à l'œuvre : produire des résultats pour la défense et la sécurité du Canada* (Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 2013).
- [7] Ministère de la Défense nationale et Forces armées canadiennes, *Protection, Sécurité, Engagement – La Politique de défense du Canada* (Gouvernement du Canada, Ottawa, 2017).

ACRONYMES

CNRC	Le Conseil national de recherches du Canada	NPT	Niveaux de maturité technologique
CSS	Centre des sciences pour la sécurité	OTAN	Organisation du Traité de l'Atlantique Nord
CST	Centre de la sécurité des télécommunications	PARI	Le Programme d'aide à la recherche industrielle
FAC	Forces armées canadiennes	PCSS	Programme canadien pour la sûreté et la sécurité
GPS	Système mondial de localisation	PI	Propriété intellectuelle
Groupe des cinq	Communauté de la défense composée de l'Australie, du Canada, des États-Unis d'Amérique, de la Nouvelle-Zélande et du Royaume-Uni	PIB	Produit intérieur brut
IDEEs	Programme Innovation pour la défense, l'excellence et la sécurité	PNS	Positionnement, navigation et synchronisation
ISDE	Innovation, Sciences et Développement économique	R et D	Recherche et développement
MDN	Ministre de la Défense nationale	RDDC	Recherche et développement pour la défense Canada
NORAD	Défense aérospatiale de l'Amérique du Nord	S et T	la Science et la Technologie
		SMA	Sous-ministre adjoint
		TQ2	les technologies quantiques 2.0