



Défense nationale
National Defence



FORCES ARMÉES
CANADIENNES

Quantum 2030

PLAN DE MISE EN ŒUVRE DE LA STRATÉGIE
DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES
DU MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE ET FORCES ARMÉES CANADIENNES



TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	1
RÉSUMÉ.....	2
PARTIE 1 : INTRODUCTION	4
PARTIE 2 : EFFORTS ACTUELS EN MATIÈRE DE S ET T QUANTIQUE DU MDN ET DES FAC.....	6
PARTIE 3 : PLAN DE MISE EN ŒUVRE DE LA STRATÉGIE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES...	9
Appel à l'action adressé à l'Équipe de la Défense.....	9
Missions quantiques.....	12
Mission 1 : radar quantique amélioré détection quantique	13
Mission 2 : LiDAR quantique amélioré détection quantique	13
Mission 3 : algorithmes quantiques pour la défense et la sécurité informatique quantique.....	14
Mission 4 : réseau quantique communications quantiques	15
Identification des risques.....	16
Approche progressive aux missions quantiques	17
CONCLUSION.....	18
ACRONYMES.....	18
Annexe – Niveaux de maturité de la technologie	19

Avant-propos



En janvier 2021, le ministère de la Défense nationale (MDN) et les Forces armées canadiennes (FAC) ont publié leur première stratégie globale d'adaptation à un créneau émergent et perturbateur de science et technologie (S et T). La *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* définit une vision ayant pour objectif de renforcer l'état de préparation de l'Équipe de la Défense à un avenir où la technologie quantique sera prévalente dans nos environnements opérationnels.

Le contexte mondial de la défense et de la sécurité a évolué rapidement depuis la publication de la Stratégie S et T quantique. La frontière entre la défense et la sécurité s'estompe avec l'augmentation des conflits menés au-dessus et au-dessous du seuil, conflits qui menacent l'ordre international fondé sur des règles. Le cyberspace et l'espace extra-atmosphérique demeurent des domaines de plus en plus importants pour la défense et la sécurité. En juin 2022, le ministre de la Défense nationale a annoncé que les systèmes

utilisés pour défendre l'Amérique du Nord et l'Arctique canadien seront modernisés afin de tenir compte des dernières avancées en matière de S et T. Les technologies quantiques devraient avoir un rôle à jouer dans l'ensemble de ces domaines.

Malgré un contexte en constante évolution, la science de la défense et de la sécurité demeure un besoin constant. L'Équipe de la Défense doit assurer une interopérabilité transparente avec ses alliés tout en gardant une longueur d'avance sur ses adversaires. Cela exige une intervention stratégique immédiate pour renforcer les capacités quantiques, que Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) est bien placée pour faire progresser en tant que chef de file fédéral de la S et T pour la défense, la sûreté et la sécurité.

Compte tenu de ces considérations, j'ai le plaisir de présenter *Quantum 2030 : le plan de mise en œuvre de la stratégie des sciences et technologies quantiques du MDN et des FAC*. *Quantum 2030* comprend un plan de recherche et de développement orienté vers la réalisation des objectifs énoncés dans la Stratégie de S et T quantique, tout en fournissant des conseils pour l'Équipe de la Défense pour qu'elle continue à s'adapter à l'évolution du paysage technologique.

À l'heure où nous nous préparons pour les décennies à venir, RDDC est prête à soutenir l'Équipe de la Défense et ses partenaires en matière de sûreté et de sécurité dans la réponse aux technologies émergentes futures. *Quantum 2030* établit les éléments de base qui guideront les efforts continus en matière de S et T tout au long de notre progression vers l'environnement opérationnel futur de la défense et de la sécurité.

Dr Jasprender Komal
Sous-ministre adjoint (Recherche et développement pour la défense Canada)

Résumé

Les technologies quantiques émergentes sont prometteuses quant à la possibilité de faire progresser les technologies de l'information, de les perturber ou d'introduire de nouvelles fonctionnalités pour diverses applications militaires, de sûreté et de sécurité. Le ministère de la Défense nationale (MDN), les Forces armées canadiennes (FAC) et les alliés du Canada peuvent utiliser ces technologies pour améliorer les opérations. Toutefois, entre les mains d'adversaires et d'acteurs malveillants, ces mêmes technologies peuvent constituer une menace.

Afin de se préparer à faire face aux technologies quantiques émergentes, le MDN et les FAC ont publié la [Stratégie S et T quantique du MDN et des FAC : se préparer à des ruptures technologiques dans l'environnement opérationnel futur](#) (SSTQ)¹ en janvier 2021. Cette stratégie guide la réponse du MDN et des FAC à la science et technologie (S et T) quantique émergente, en veillant à ce que l'Équipe de la Défense soit bien préparée pour l'environnement opérationnel quantique futur tout en appuyant l'écosystème quantique universitaire et industriel qui est déjà florissant au Canada.

Bien que les technologies quantiques soient encore émergentes, il existe des possibilités d'investir dans celles-ci : en tirant parti de la recherche et du développement (R et D), en explorant les contre-mesures et en comprenant rapidement leur potentiel. Cependant, une fois qu'elles sont en place (c'est-à-dire qu'elles sont prêtes à être exploitées sur le plan opérationnel), l'existence de certaines technologies devient une caractéristique permanente du paysage de la menace et pourrait être utilisée par des acteurs malveillants contre le Canada ou ses alliés. Parallèlement, les alliés du Canada en matière de défense investissent dans les technologies quantiques dans les domaines de la détection, de l'informatique et des communications. Le MDN et les FAC doivent garder une longueur d'avance sur leurs adversaires potentiels et maintenir l'interopérabilité avec leurs alliés.

Depuis la publication de la SSTQ, les tendances en matière de technologie se sont accélérées et les gouvernements du monde entier investissent de plus en plus dans l'écosystème quantique mondial. Ici, au Canada, dans le cadre de la Stratégie quantique nationale (SQN), le gouvernement du Canada investit 360 millions de dollars sur sept ans, de l'année financière 2021-2022 à l'année financière 2027-2028, pour appuyer l'écosystème quantique du Canada.

Quantum 2030 : le plan de mise en œuvre de la stratégie des sciences et technologies quantiques du MDN et des FAC est un appel à l'action visant à permettre à l'Équipe de la Défense de recenser les facteurs relatifs à la S et T quantique et de les intégrer aux efforts de planification. L'appel à l'action couvre cinq domaines :

1. **Déterminer les opérations et les utilisateurs finaux potentiels** qui pourraient être touchés par la technologie quantique. Ces opérations et utilisateurs finaux bénéficieront d'un soutien supplémentaire en matière de S et T quantique et seront chargés de mettre en œuvre l'appel à l'action.
2. **Former le personnel concerné afin d'étendre ses compétences** et lui permettre ainsi d'acquérir une compréhension de base de la technologie quantique, appelée « littératie de la S et T quantique ». Les personnes qui ne sont pas des experts devraient pouvoir prendre des décisions raisonnées et fondées sur des données probantes concernant la S et T en matière d'information quantique en lien avec leur rôle.
3. **Maintenir un dialogue avec Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)** sur les efforts déployés en matière de S et T quantique afin d'accroître l'harmonisation des investissements dans ce domaine au sein de l'Équipe de la Défense, en appui direct au troisième pilier de la SSTQ.
4. **Tirer parti des possibilités d'expérimentation pratique** des technologies quantiques grâce aux programmes d'innovation du gouvernement du Canada afin d'accéder aux technologies de pointe.

¹ Pour une présentation de la technologie quantique et de la façon dont elle pourrait un jour être utilisée par la défense et la sécurité, ainsi qu'une description de l'approche globale du MDN et des FAC en vue de transformer les technologies quantiques en capacités militaires, le lecteur est invité à consulter la SSTQ, disponible à l'adresse suivante : <https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/organisation/rapports-publications/strategie-de-sciences-et-technologies-quantiques-du-mdn-et-des-fac.html>

5. **Dialoguer directement avec des experts canadiens du domaine de la S et T quantique dans les milieux universitaires et industriels.**

L'écosystème quantique canadien est reconnu dans le monde entier comme étant exceptionnel, et il appartient au MDN et aux FAC de tirer parti de cet avantage du secteur civil pour en faire un avantage du secteur de la défense et de la sécurité.

En plus de l'appel à l'action, RDDC dirigera l'effort en matière de S et T quantique du MDN et des FAC en entreprenant une série de projets pour faire progresser le niveau de maturité technologique (NMT)² dans les quatre créneaux spécialisés relevés. Un énoncé de mission a été élaboré pour chaque domaine, l'objectif étant d'atteindre le NMT 7 (un prototype prêt à être mis à l'essai sur le terrain) dans un délai de sept ans, c'est-à-dire d'ici 2030. Chaque mission définit une technologie quantique spécifique présentant un intérêt élevé pour la défense, la sûreté et la sécurité.

1. **Radar quantique amélioré**

Au cours des sept prochaines années, RDDC va construire et mettre à l'essai sur le terrain le prototype d'un système quantique de transmission et de détection à fréquences radio à longue portée.

2. **LiDAR (système de télédétection par laser) quantique amélioré**

Au cours des sept prochaines années, RDDC va construire et mettre à l'essai sur le terrain le prototype d'un système LiDAR quantique amélioré.

3. **Algorithmes quantiques pour la défense et la sécurité**

Au cours des sept prochaines années, RDDC fera la démonstration d'un algorithme quantique qui résout un problème de défense et/ou de sécurité plus efficacement qu'avec des moyens informatiques classiques.

4. **Réseau quantique**

Au cours des sept prochaines années, RDDC collaborera avec des partenaires pour bâtir un réseau de communication capable de transmettre des renseignements quantiques sur de longues distances et d'utiliser des protocoles quantiques théoriquement impossibles à pirater, et en faire la démonstration.

L'approche axée sur les missions se concentre sur la construction de systèmes prototypes. Pour réussir, ces missions nécessiteront des équipes pluridisciplinaires

² Pour obtenir de plus amples renseignements, le lecteur pourra consulter l'annexe relative aux niveaux de maturité technologique.

qui auront la responsabilité de concevoir un système fonctionnel. RDDC devra collaborer avec des partenaires du milieu universitaire, du secteur privé et de l'ensemble du gouvernement du Canada.

Les missions se dérouleront en trois phases. La première phase (première année, année financière 2023-2024) comprend une croissance ciblée, notamment le recrutement de personnel hautement qualifié (PHQ), la formation d'experts provenant de secteurs autres que celui de la S et T quantique, et une capacité augmentée sous la forme d'une fonction de conseil stratégique élargie. La deuxième phase (années deux à quatre, années financières 2024-2025 à 2026-2027) comprend la cartographie détaillée des jalons et l'approbation officielle des missions, et des projets scientifiques connexes à l'appui de chaque mission. La troisième et dernière phase (années cinq à sept, années financières 2027-2028 à 2029-2030) verra des essais et des démonstrations sur le terrain qui accéléreront l'adoption rapide des technologies quantiques.

D'ici 2030, le paysage et le marché des technologies quantiques seront considérablement différents de ce qu'ils sont aujourd'hui. *Quantum 2030* est conçu pour trouver un équilibre entre l'exploration de niches technologiques prometteuses et l'adoption d'une approche souple. En tant que le premier plan de mise en œuvre de la stratégie S & T du MDN et des FAC, *Quantum 2030* servira également à guider les positions du MDN et des FAC à l'égard des technologies émergentes futures.



Photo : Caporal David Veidman, Forces armées canadiennes

Des aurores boréales sont observées à proximité du Navire canadien de Sa Majesté (NCSM) HARRY DEWOLF lors des essais par temps froid près de la baie Frobisher, le 21 février 2021.

Partie 1 :

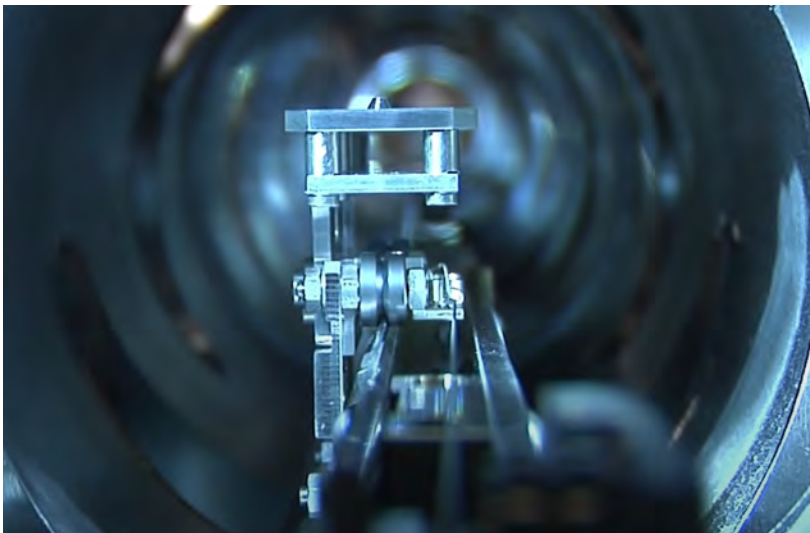
INTRODUCTION

Les technologies quantiques émergentes promettent de faire progresser les technologies, de les perturber ou d'établir de nouvelles fonctionnalités pour diverses applications militaires, de sûreté et de sécurité. Celles-ci comprennent notamment la détection d'objets, le positionnement, la navigation et la synchronisation (PNT) dans des environnements dépourvus de système de positionnement global (GPS), la détection des menaces chimiques, biologiques, radiologiques et nucléaires (CBRN), la communication sécurisée, l'optimisation des ressources et de la logistique, l'analyse cryptographique, la recherche avancée sur les matériaux et la médecine. Employées par le MDN, les FAC et les alliés du Canada, elles peuvent offrir des possibilités d'améliorer les opérations de défense, de sûreté et de sécurité. Toutefois, entre les mains d'adversaires et d'acteurs malveillants, ces mêmes technologies peuvent constituer une menace pour les forces canadiennes et alliées, les infrastructures essentielles du Canada, ainsi que pour la prospérité et la sécurité des Canadiens.

Depuis la publication de la SSTQ, les tendances en matière de technologie se sont accélérées et l'importance pour l'Équipe de la Défense de se préparer à une technologie quantique perturbatrice n'a fait que croître. Le rôle de la technologie de l'information dans les conflits, comme la cyberguerre et la guerre hybride, est

également de plus en plus important. Les technologies émergentes, notamment les technologies quantiques, arrivent à maturité plus rapidement que prévu, et il est de plus en plus important pour le MDN et les FAC de s'adapter à l'évolution de l'environnement opérationnel.

Image de droits d'auteur de l'Institut de l'informatique quantique de l'Université de Waterloo, utilisée avec l'autorisation de RDDC.



Reconnaissant que les technologies quantiques sont susceptibles non seulement de stimuler une croissance économique importante, mais aussi de perturber les opérations de défense, de sûreté et de sécurité, les gouvernements ont investi massivement dans la technologie quantique. Le secteur privé s'adapte aux possibilités offertes par les technologies quantiques. Un certain nombre de jeunes entreprises sont à l'avant-garde des solutions quantiques et des entreprises de différents secteurs réalisent des investissements importants dans la R et D quantique.

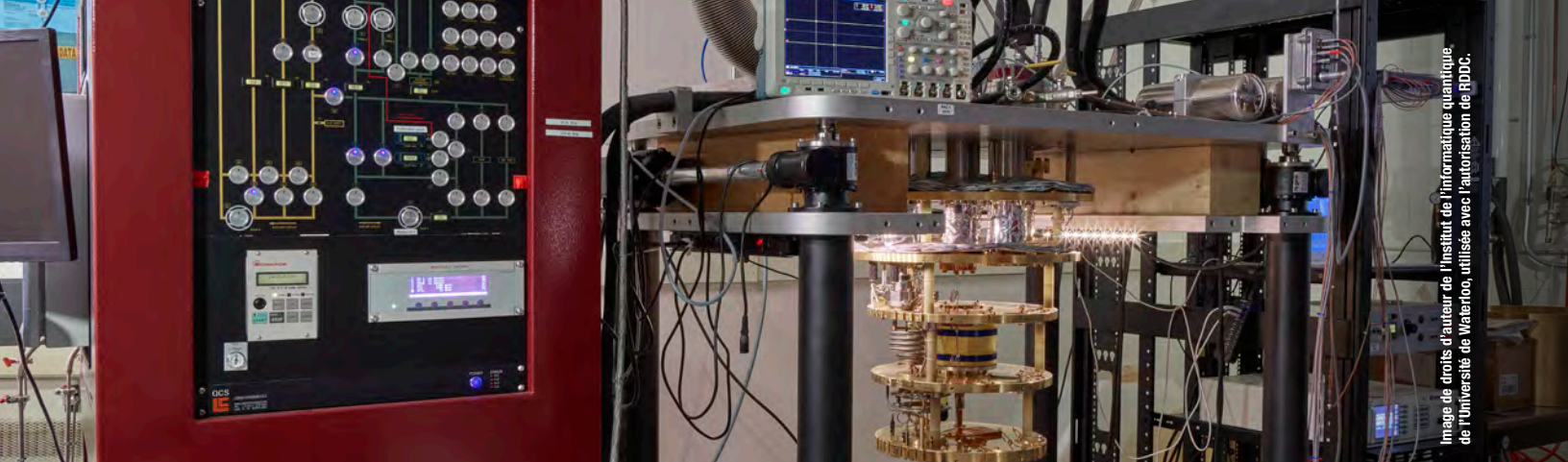


Image de droits d'auteur de l'Institut de l'informatique quantique de l'Université de Waterloo, utilisée avec l'autorisation de RDQC.

Le réfrigérateur à dilution Leiden CF1400 de l'Institut de l'informatique quantique de l'Université de Waterloo offre une plate-forme à température ultra-basse pour le développement de dispositifs quantiques.

Le Canada est un chef de file dans le développement de la science et de la technologie quantiques, en grande partie grâce aux investissements rapides effectués par les secteurs privé et public. La SQN établit l'engagement du gouvernement du Canada à développer et à maintenir un écosystème national de technologies quantiques de classe mondiale. Le budget de 2021 a annoncé un investissement de 360 millions de dollars sur sept ans à compter de l'année financière 2021-2022 pour lancer la SQN, sous l'égide d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE). La SQN amplifiera la force du Canada en matière de recherche quantique et fera croître nos technologies, nos entreprises et nos talents dans ce domaine. Sorti en janvier 2023, la SQN décrit les investissements sous trois piliers : la recherche, le talent et la commercialisation. En coordonnant les investissements et les résultats dans ces trois piliers, le Canada peut renforcer son avantage dans le secteur de la S et T quantique et faire progresser sa souveraineté scientifique et technologique dans ce domaine. En mettant l'accent sur la collaboration, la SQN oriente également les efforts en fonction des missions dans les domaines clés de la technologie quantique.

Les investissements réalisés aux termes de la SQN seront effectués principalement par l'entremise de programmes existants du gouvernement du Canada, comme les programmes Défi du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et les subventions Alliance du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). L'Initiative de recherche et développement en quantique (IRDQ), un nouveau programme d'environ 9 millions de dollars sur cinq ans à compter de l'année financière 2023-2024, est conçue pour rendre possible la R et D dans le domaine quantique entre les ministères, selon les mandats et les priorités du gouvernement fédéral, afin de régler des questions importantes pour les Canadiens.

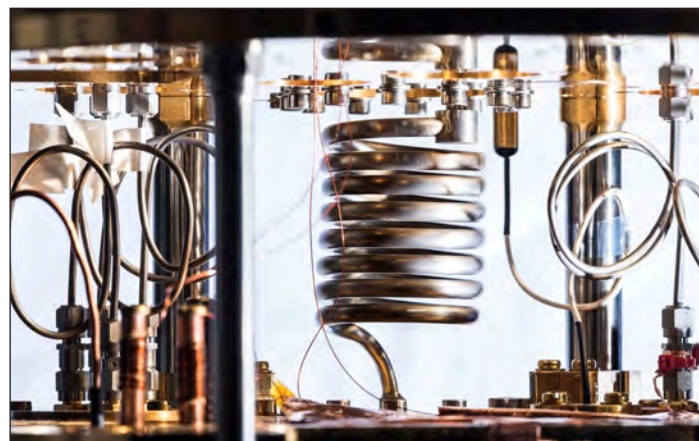


Image de droits d'auteur de l'Institut de l'informatique quantique de l'Université de Waterloo, utilisée avec l'autorisation de RDQC.

Vue rapprochée d'un réfrigérateur à dilution.

Quantum 2030 : le plan de mise en œuvre de la stratégie des sciences et technologies quantiques du MDN et des FAC fait suite à la SSTQ et définit des mesures concrètes pour l'Équipe de la Défense afin d'atteindre les objectifs décrits dans la SSTQ d'ici 2030. *Quantum 2030* est conforme à la SQN et aux autres politiques et stratégies du gouvernement du Canada, et vient compléter les plans des alliés du Canada.

Quantum 2030 désigne les créneaux spécialisés, sous la forme de quatre missions de S et T quantique à mener à bien d'ici 2030, afin de concentrer les investissements dans les capacités scientifiques et technologiques internes. D'autres efforts en matière de S et T quantique au-delà des missions se poursuivront par l'intermédiaire de partenariats et de programmes tels que le programme Innovation pour la défense, l'excellence et la sécurité (IDEeS), le Programme canadien pour la sûreté et la sécurité (PCSS) et Solutions innovatrices Canada (SIC).

Partie 2 :

EFFORTS ACTUELS EN MATIÈRE DE S ET T QUANTIQUE DU MDN ET DES FAC

En tant que conseiller en matière de S et T de l'Équipe de la Défense, RDDC étudie depuis des années les applications des phénomènes quantiques pour résoudre des problèmes de défense, de sûreté et de sécurité. De plus, à mesure que les technologies quantiques gagnent en maturité, l'Équipe de la Défense s'adapte. Plusieurs efforts sont actuellement déployés par le MDN et les FAC pour adopter les technologies quantiques émergentes, s'y adapter ou se préparer à y faire face. Ces efforts peuvent être classés en trois piliers qui se renforcent mutuellement, comme l'indique la SSTQ. Ceux-ci, ainsi que les nouveaux investissements et la concentration sur des domaines ciblés, constituent la base du plan *Quantum 2030*.

PILIER 1 – Transformer des technologies quantiques en capacités de défense

La SSTQ a déterminé que les capteurs quantiques constituaient une priorité stratégique pour le MDN et les FAC en raison de leur pertinence pour les opérations. Ce projet est en bonne voie et *Quantum 2030* établit un plan de sept ans pour investir stratégiquement dans des types de capteurs quantiques, en les amenant à un NMT élevé et en optimisant les solutions prometteuses à des fins de défense³.

RDDC mène des recherches en utilisant diverses technologies quantiques pour améliorer la connaissance de la situation dans des contextes de défense, de sûreté et de sécurité. Grâce à des partenariats et à des programmes tels que IDEeS, PCSS et SIC, RDDC appuie actuellement la recherche dans le domaine du positionnement, de la navigation et de la synchronisation

ainsi que de la détection des menaces CBRN par des moyens quantiques améliorés, entre autres. RDDC prévoit améliorer ses installations, en partie pour accroître sa capacité à effectuer ce type de recherche.

Les partenaires en défense investissent dans le développement de capacités d'informatique quantique, même si de nombreuses inconnues subsistent quant à l'évolution de ce domaine. Grâce au volet de mise à l'essai de SIC, RDDC a obtenu l'accès à un prototype d'ordinateur quantique. Ces premiers travaux de recherche exploratoire serviront de base à la poursuite des recherches sur l'informatique quantique, en mettant l'accent sur les algorithmes quantiques pour la défense et la sécurité⁴.

Le Canada est un chef de file mondial dans le domaine de la technologie de communications quantique de l'espace. RDDC appuie la mission Quantum EncryPTION and Science Satellite (QEYSSat) dirigée par l'Agence spatiale canadienne (ASC)⁵.

3 Le lecteur pourra se reporter aux missions de S et T quantique 1 et 2 pour de plus amples détails sur les plans de RDDC visant à accélérer la transformation de deux types spécifiques de capteurs quantiques en capacités de défense : le radar quantique amélioré et le système LiDAR quantique amélioré.

4 Le lecteur pourra se reporter à la mission de S et T quantique 3 pour obtenir de plus amples détails sur les plans en matière de recherche sur les algorithmes quantiques.

5 Le lecteur pourra se reporter à la mission quantique 4 pour connaître les plans supplémentaires de recherche sur les communications quantiques spécifiques à la défense.



Certy Images



Photo : James Clark, RDDC/MDN

PILIER 2 – Établir et maintenir de solides partenariats dans le domaine des technologies quantiques

Les contre-mesures quantiques comprennent des efforts qui peuvent ou non faire appel à la technologie quantique, afin de s'adapter à la menace que représentent les technologies quantiques émergentes. L'exploration des contre-mesures pour les technologies quantiques émergentes est une mesure stratégique définie dans la SSTQ; l'étude des contre-mesures pour la technologie associée est un aspect essentiel de chacune des missions de *Quantum 2030*.

La menace que représente l'informatique quantique pour les communications sécurisées est un problème de sécurité nationale urgent. La mise en œuvre de contre-mesures pour protéger les communications sensibles de l'Équipe de la Défense avant que la menace ne soit matérialisée par un ordinateur quantique, et tout en assurant l'interopérabilité avec les alliés, sera une entreprise clé du MDN et des FAC. Le Centre de la sécurité des télécommunications (CST) défend les réseaux du gouvernement du Canada et offre des conseils et des recommandations aux autres ministères et organismes. Le MDN, les FAC et le CST travaillent ensemble ainsi qu'avec les alliés du Canada pour mettre en œuvre la cryptographie post-quantique (CPQ) à la suite de l'élaboration de normes. Ces normes sont conçues pour protéger les futures communications sensibles contre les attaques cryptographiques d'un adversaire disposant d'un ordinateur quantique suffisamment puissant, tout en garantissant l'interopérabilité avec les alliés à tout moment.

Le Canada dispose d'un écosystème quantique de classe mondiale basé sur le milieu universitaire et l'industrie. Il est important que le MDN et les FAC investissent dans l'industrie quantique nationale, non seulement pour tirer parti des talents afin d'améliorer les capacités de défense, mais aussi pour les protéger et réduire les risques liés à l'innovation. Sans le soutien du MDN et des FAC, les entreprises qui développent des technologies liées à la défense et à la sécurité n'auraient d'autre choix que de s'installer dans des pays dont les armées sont prêtes à investir dans leur développement et/ou leurs chaînes d'approvisionnement. Cela aurait des conséquences économiques et de sécurité pour le Canada, comme l'augmentation des coûts pour le MDN et les FAC afin d'interagir avec les alliés ou l'utilisation par des adversaires potentiels de technologies quantiques développées au Canada. Il est également important que RDDC participe aux discussions sur les normes internationales relatives aux technologies quantiques émergentes, en mettant à profit son expertise en matière d'innovation dans le domaine de la défense et en représentant les intérêts canadiens à l'échelle mondiale.

RDDC s'efforce de bâtir des liens robustes avec les experts canadiens en matière de science et technologie quantique dans l'industrie et le milieu universitaire. Par exemple, le programme IDEeS joue un rôle clé dans la manière dont le MDN et les FAC déterminent les partenaires et les solutions novatrices capables de résoudre les problèmes de défense. Le programme IDEeS a fourni un financement aux innovateurs en matière de S et T quantique canadiens par l'intermédiaire de projets concurrentiels et définit des réseaux d'innovation collaborative axés sur les applications de

la S et T quantique pour la défense. D'autres appels de propositions visant la technologie quantique pourraient être lancés. Le programme de science et technologie pour la sécurité et la défense (STSD) comprend des projets en cours qui appuient la recherche dans un ensemble diversifié de domaines de la S et T quantique pertinents pour la défense. Enfin, RDDC a parrainé plusieurs défis par l'intermédiaire de SIC afin d'appuyer le développement de technologies quantiques spécifiques par des groupes privés ou universitaires canadiens. Ces défis sont en cours de réalisation.

Le MDN et les FAC, par l'intermédiaire de RDDC, travaillent en étroite collaboration avec d'autres ministères et organismes gouvernementaux au moyen de protocoles d'entente (PE) existants et de plusieurs comités interministériels. Ces mécanismes permettent au MDN et aux FAC d'appuyer des projets de recherche ayant des applications dans les domaines de la défense, de la sûreté et de la sécurité, ainsi que la coordination entre les gouvernements afin de créer des partenariats et d'appuyer la formation de personnel expert en S et T quantique hautement qualifié dans des domaines pertinents pour les besoins de la défense.



Système LiDAR monté sur un véhicule à des fins d'essais à RDDC Valcartier.

RDDC entretient des contacts stratégiques et travaille avec diverses organisations dans le monde entier dans le but de contribuer au développement de technologies quantiques mutuellement bénéfiques et de mettre celles-ci à profit. Par exemple, RDDC collabore avec des partenaires des États-Unis dans des domaines liés aux communications quantiques.

L'Équipe de la Défense collabore avec la communauté internationale appelée Groupe des cinq et le Programme de coopération technique (TTCP). RDDC participe également au Groupe de quantum de l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN), qui permet au MDN et aux FAC d'établir des liens avec des entreprises du secteur de la S et T quantique dans les pays de l'OTAN. Ces mécanismes permettent une collaboration internationale entre gouvernements sur des priorités communes en matière de R et D.

Pilier 3 – Améliorer la cohérence des investissements en S et T quantique dans l'ensemble du MDN et des FAC

L'élaboration de *Quantum 2030* a été un processus d'harmonisation en soutien direct au pilier 3 de la SSTQ. Dans le cadre de la mise en œuvre de *Quantum 2030*, un travail continu sera entrepris pour maintenir cette harmonisation. *Quantum 2030* ne détermine pas à l'avance toutes les activités liées à la S et T quantique pour les sept prochaines années; il vise à renforcer les initiatives en matière de S et T quantique de l'Équipe de la Défense, en permettant l'innovation et l'adaptabilité le cas échéant, et en fournissant des directives claires sur les domaines stratégiques sur la base des meilleures données probantes disponibles.



Photo : James Clark, RDDC/MDN

L'expérience en environnement urbain contesté 2018 (EUC18) a pour but d'étudier les technologies nouvelles et émergentes qui pourraient améliorer l'efficacité du personnel militaire menant des opérations dans des villes complexes tout en réduisant les risques pour les forces armées et les civils.

Partie 3 :

PLAN DE MISE EN ŒUVRE DE LA STRATÉGIE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES

Le plan visant à atteindre les objectifs des trois piliers de la SSTQ est divisé en deux sections : un appel à l'action afin que le MDN et les FAC continuent à se préparer à l'environnement opérationnel futur axé sur la technologie quantique; et un plan pour que RDDC dirige la réponse en matière de S et T de l'Équipe de la Défense dans ce domaine de technologie émergente et potentiellement perturbatrice.

APPEL À L'ACTION ADRESSÉ À L'ÉQUIPE DE LA DÉFENSE

L'Analyse comparative entre les sexes Plus (ACS Plus), la diversité et l'inclusion, ainsi que les facteurs économiques et liés à la sécurité nationale et à la recherche seront intégrés dans tous les travaux de S et T quantique conformément à la politique actuelle du gouvernement du Canada.

Les technologies quantiques sont souvent décrites comme étant « émergentes »; il est donc urgent pour l'Équipe de la Défense d'y répondre. C'est lorsque les technologies quantiques sont en émergence (c'est-à-dire qu'elles présentent un NMT faible) que le moment est idéal pour investir dans ces technologies, en tirant parti de la R et D, en explorant les contre-mesures et en comprenant rapidement leur potentiel. Cependant, une fois qu'elles sont en place (c'est-à-dire qu'elles sont prêtes à être exploitées sur le plan opérationnel), l'existence de certaines technologies devient une menace permanente dans la mesure où celles-ci pourraient être utilisées par des acteurs malveillants contre les membres des FAC, les Canadiens ou nos alliés. Parallèlement, les alliés du Canada en matière de défense investissent dans les technologies quantiques dans les domaines de la détection, de l'informatique et des communications. Le MDN et les FAC doivent non seulement garder une longueur d'avance sur leurs adversaires potentiels, mais ils doivent également maintenir l'interopérabilité avec leurs alliés. En gardant ces éléments à l'esprit, les mesures suivantes devraient être intégrées aux efforts de planification :

1. **Déterminer les opérations et les utilisateurs finaux potentiels** qui pourraient être touchés par la technologie quantique. Ces opérations et utilisateurs finaux bénéficieront d'un soutien supplémentaire en matière de S et T quantique et seront chargés de mettre en œuvre l'appel à l'action. Ces domaines devraient être touchés par la détection, l'informatique et les communications quantiques, respectivement :
 - Tout type de capteur (un dispositif qui contribue à la connaissance de la situation en mesurant certains aspects de l'environnement) peut, en principe, être amélioré par l'intégration de composants quantiques avancés. Cela comprend, sans s'y limiter, les caméras (thermiques/infrarouges, optiques), la détection et l'imagerie radio/radar, les magnétomètres, les gravimètres et les systèmes de positionnement, de navigation et de synchronisation, ainsi que la détection des menaces CBRN.
 - Les utilisateurs de services de haute performance et d'informatique en nuage, ainsi que les analystes de données employant l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage machine (AM) ou d'autres techniques pour résoudre des problèmes complexes tels que la logistique ou d'autres formes d'optimisation, devraient réfléchir aux répercussions que les futurs ordinateurs quantiques pourraient avoir sur les opérations. Des plans visant à intégrer les services d'informatique quantique dans les stratégies d'informatique en nuage actuelles et futures

doivent être élaborés aux niveaux classifié et non classifié. Bien que les ordinateurs quantiques commerciaux ne soient pas encore prêts pour un déploiement complet, l'Équipe de la Défense doit se préparer à des progrès technologiques soudains et inattendus dans ce domaine.

Les récents développements en matière de S et T mettent en évidence la vitesse à laquelle le domaine quantique et ceux de l'IA/AM convergent l'un vers l'autre. La mise en œuvre réussie de la SSTQ, notamment en ce qui a trait à la mise à profit du potentiel de l'informatique quantique pour l'analyse des données, nécessitera une base solide de données organisées, exactes et bien gérées, ce qui fait de la [Stratégie relative aux données du MDN et des FAC](#)⁶ un document d'orientation clé.

- Les équipes qui travaillent dans le domaine de la cybersécurité et des systèmes d'information seront touchées par la menace que représente l'informatique quantique pour la sécurité des communications. Les opérations de cybersécurité et de communications, y compris les communications dans l'espace, devront bientôt mettre en œuvre des contre-mesures. Les plans visant la mise en œuvre de la cryptographie post-quantique sont en cours d'élaboration en collaboration avec les alliés.

2. **Former le personnel concerné afin d'étendre ses compétences** et lui permettre ainsi d'acquérir une compréhension de base de la technologie quantique, appelée « littératie de la S et T quantique ». Les personnes qui ne sont pas des experts devraient pouvoir prendre des décisions raisonnées et fondées sur des données probantes concernant la S et T quantique qui est pertinente pour leur rôle.

- La SQN investit dans l'acquisition et le maintien d'une expertise en matière de S et T quantique au Canada, ainsi que dans l'accès à des bassins mondiaux de talents pour répondre aux besoins actuels et futurs du Canada.

3. **Maintenir un dialogue avec RDDC** sur les efforts en matière de S et T quantique afin d'accroître l'harmonisation des investissements dans ce domaine au sein de l'Équipe de la Défense, en appui direct au troisième pilier de la SSTQ.

- RDDC a noué des liens stratégiques avec la communauté de la technologie quantique, tant au Canada qu'à l'étranger. L'Équipe de la Défense est encouragée à travailler avec RDDC pour cibler les partenaires potentiels dont tirer parti à mesure que sa capacité quantique s'accroît et pour offrir des occasions de formation et de recrutement spécifiques.

6 Le lecteur pourra retrouver cette stratégie à l'adresse suivante : <https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/organisation/rapports-publications/strategie-de-donnee/strategie-relative-aux-donnees.html>



Photo : James Clark, RDDC/MDN



Michael Franz, RDDC/MDN

Un véhicule terrestre sans équipage a été utilisé pour recueillir des échantillons de menaces radiologiques détectées au moyen de véhicules aériens sans pilote lors de l'essai de dispersion radiologique à RDDC Suffield.

- Afin d'assurer l'harmonisation au sein de l'Équipe de la Défense, l'actuel groupe de travail sur la politique quantique (GTPQ) dirigé par RDDC est composé, entre autres, de chercheurs, d'utilisateurs finaux de la technologie quantique, d'analystes politiques et d'autres membres du personnel. Le GTPQ est un exemple de forum où le MDN et les FAC échangent leurs connaissances sur la S et T quantique. Les activités quantiques font l'objet de discussions au niveau opérationnel et les occasions de tirer parti des progrès de l'Équipe de la Défense sont citées en appui au troisième pilier. L'adhésion continue au GTPQ ainsi que sa gestion évolueront au fil du temps pour refléter les besoins de l'Équipe de la Défense.
4. **Tirer parti des possibilités d'expérimentation pratique** des technologies quantiques grâce aux programmes d'innovation du gouvernement du Canada afin d'accéder aux technologies de pointe.
- Cela inclura l'utilisation de SIC, du PCSS et d'IDEEs.
- La SQN devrait accroître les occasions de faire progresser les technologies quantiques en capacités de défense grâce à la collaboration avec les autres ministères et organismes, au moyen de l'IRDQ par exemple, et avec des partenaires universitaires et industriels canadiens dans le cadre d'autres programmes financés.
5. **Dialoguer directement avec des experts canadiens du domaine de la S et T quantique dans les milieux universitaires et industriels.** L'écosystème quantique canadien est reconnu dans le monde entier comme étant exceptionnel, et il appartient au MDN et aux FAC de tirer parti de cet avantage du secteur civil pour en faire un avantage du secteur de la défense et de la sécurité.
- Bien qu'il soit important pour le reste de l'Équipe de la Défense de maintenir un dialogue avec RDDC afin d'obtenir des conseils scientifiques axés sur la défense et d'éviter la duplication des travaux, cela n'empêche pas les utilisateurs finaux et les opérations susceptibles d'être touchés par la technologie quantique de communiquer directement avec les intervenants externes et d'établir leurs propres relations de travail.



Photo : Cpl Valérie Ducobs-Péloquin,
34e Groupe Brigade, Forces armées canadiennes

MISSIONS QUANTIQUES

Afin de faire progresser les capacités du MDN et des FAC dans les secteurs de niche identifiées, RDDC a déterminé une série de projets à entreprendre. Un énoncé de mission est présenté ci-après pour chaque domaine spécifique, l'objectif étant d'atteindre le NMT 7 (un prototype prêt à être mis à l'essai sur le terrain) dans un délai de sept ans, c'est-à-dire d'ici 2030. Pour réussir, ces missions nécessiteront des équipes pluridisciplinaires qui auront la responsabilité de concevoir un système fonctionnel; RDDC devra collaborer avec des partenaires du milieu universitaire, du secteur privé et de l'ensemble du gouvernement du Canada.

Chaque mission concerne une technologie quantique spécifique présentant un intérêt élevé pour la défense, la sûreté et la sécurité : radar quantique amélioré, LiDAR quantique amélioré, algorithmes quantiques et réseaux quantiques. Les missions ont été choisies pour fournir à RDDC des domaines technologiques précis afin d'orienter les investissements et ainsi concrétiser le premier pilier de la SSTQ : Transformation des technologies quantiques en capacités de défense. Chaque mission met également l'accent sur les contre-mesures en appui au pilier 1.2.

Afin de favoriser l'établissement de partenariats plus solides en appui au deuxième pilier, les missions ont été choisies selon différents critères : les points forts du Canada et de RDDC, leur complémentarité avec les

points forts des pays alliés, les chances de succès et la nécessité d'exécuter au moins une partie des travaux en interne en raison de leur caractère confidentiel et de renforcer les capacités dans des domaines présentant un intérêt élevé pour les opérations de défense futures.

L'approche axée sur la mission renforce la cohésion de l'Équipe de la Défense en appui au troisième pilier.

Ces missions ne remettent pas en cause le soutien du MDN et des FAC à la recherche dans d'autres domaines de la S et T quantique présentant un intérêt pour la défense et la sécurité et pour lesquels les travaux menés par des partenaires externes dans les pays alliés ou par le secteur privé se poursuivront. L'Équipe de la Défense participera de manière continue aux capacités de mises à l'essai et d'adoption rapide exploratoire comme par le biais d'IDEes, du PCSS, de SIC ou d'autres mécanismes d'investissement.

Avant de s'engager complètement dans les missions telles qu'elles sont décrites dans le présent document, la première étape consiste à réaliser la cartographie scientifique détaillée des jalons et des études de faisabilité pour chacun des domaines relevés. Suite à cela, les missions pourront être affinées et planifiées dans le cadre d'un programme qui permettra d'exécuter une série de projets destinés à faire progresser les technologies quantiques dans les domaines de la défense et de la sécurité. La section suivante comporte de plus amples détails sur cette approche progressive.

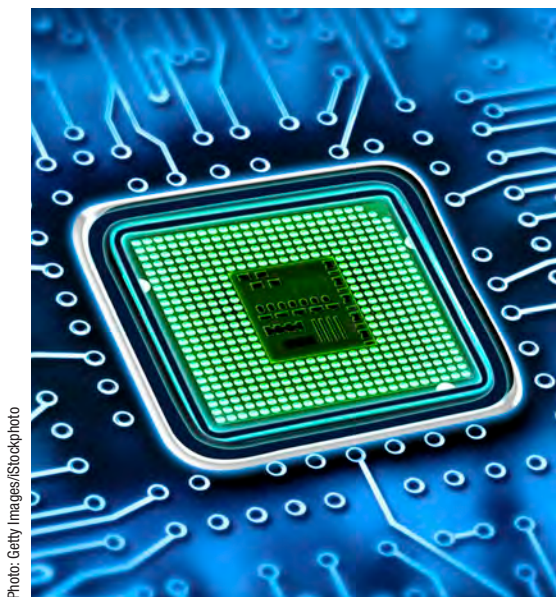


Photo: Getty Images/Stockphoto



Photo : James Clark, RDDC/MDN

Un essai de détection d'anomalies magnétiques au Centre d'expérimentation et d'essais maritimes des Forces canadiennes (CEEMFC).



MISSION 1 : RADAR QUANTIQUE AMÉLIORÉ DÉTECTION QUANTIQUE

Au cours des sept prochaines années, RDDC va construire et mettre à l'essai sur le terrain le prototype d'un système quantique de transmission et de détection à fréquences radio à longue portée.

La technologie du radar est le résultat d'améliorations continues. Les systèmes radars utilisés pendant la Seconde Guerre mondiale seraient inutiles dans un contexte de défense aujourd'hui, en raison des progrès constants réalisés au cours des décennies qui ont suivi. Aujourd'hui, le radar est une technologie clé du Système d'alerte du Nord conjoint entre les États-Unis et le Canada utilisé pour défendre l'Amérique du Nord contre les menaces pénétrant dans l'espace aérien canadien par le Nord. À mesure que la technologie du radar progresse, les applications futures et les capacités supplémentaires pourront employer des composants quantiques améliorés.

RDDC collabore avec ses partenaires pour concevoir et mettre à l'essai des émetteurs et des

détecteurs à fréquences radio améliorées par le quantum. Ceux-ci pourraient un jour être utilisés dans un système de radar quantique amélioré. Cette technologie, qui en est encore à un niveau de maturité faible ou moyen, pourrait permettre la détection des aéronefs dits «furtifs», qui est elle-même est qualifiée d'indétectable (détection furtive), tout en améliorant la résolution d'image. Ces travaux nécessiteront l'amélioration du traitement des signaux quantiques et l'expertise d'équipes pluridisciplinaires.

Parallèlement à ces recherches portant sur le développement de la technologie, RDDC mènera des recherches sur les contre-mesures liées aux radars quantiques améliorés.



MISSION 2 : LIDAR QUANTIQUE AMÉLIORÉ DÉTECTION QUANTIQUE

Au cours des sept prochaines années, RDDC va construire et mettre à l'essai sur le terrain le prototype d'un système LiDAR quantique amélioré.

Le LiDAR est un système semblable au radar, excepté qu'il fonctionne avec des sources de lumière cohérentes telles que les lasers. Les avancées réalisées ces dernières décennies sur les sources optiques quantiques et les détecteurs, y compris les sources quantiques intriquées, laissent à penser que la sensibilité résultant de l'exploitation des effets quantiques améliorera la performance des LiDAR.

Les domaines d'expertise de RDDC et les recherches actives incluent l'imagerie sous-marine,

l'imagerie dans des zones confinées et des environnements obscurs (par exemple, à travers le brouillard, la fumée, les filets, etc.) et la détection des optiques hostiles. Cette mission est l'occasion de repousser les limites de ce qui est déjà un point fort de RDDC et du Canada.

Parallèlement aux recherches portant sur le développement de la technologie, RDDC mènera des recherches sur les contre-mesures liées au système LiDAR quantique amélioré.



MISSION 3 : ALGORITHMES QUANTIQUES POUR LA DÉFENSE ET LA SÉCURITÉ

INFORMATIQUE QUANTIQUE

Au cours des sept prochaines années, RDDC fera la démonstration d'un algorithme quantique qui solutionnera un problème de défense plus efficacement qu'avec des moyens informatiques classiques.

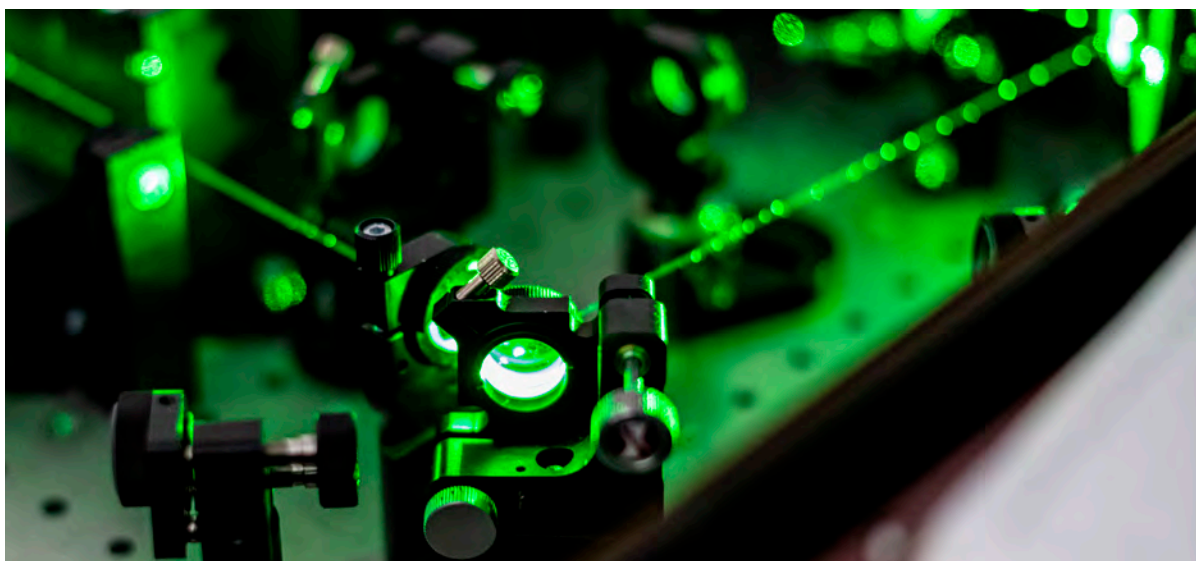
Des démonstrations ont déjà eu lieu concernant des opérations logistiques réelles améliorées grâce à l'utilisation combinée des mégadonnées, de l'IA/AM de l'informatique quantique. L'aspect non quantique de ces travaux est significatif : les données peuvent être recueillies, organisées et analysées, et des algorithmes d'IA/AM peuvent être intégrés à l'aide de l'informatique quantique. Ces investissements dans les technologies de l'information non quantiques seront nécessaires pour exploiter pleinement les nouvelles capacités matérielles de la technologie quantique. Cela revient à faciliter l'accès aux données de haute qualité et correctement réglementées, structurées et classifiées dont l'IA/AM dépend, et à établir des équipes de R et D pluridisciplinaires.

Les chercheurs de RDDC possèdent une expertise dans l'utilisation de plateformes informatiques performantes pour résoudre, en collaboration

avec les partenaires de l'Équipe de la Défense, les problèmes informatiques. RDDC a sécurisé l'accès à un prototype d'ordinateur quantique pour commencer à explorer des domaines d'application potentiels. Les chercheurs ont aussi exploré la possibilité d'utiliser des plateformes informatiques quantiques commerciales accessibles dans le nuage pour résoudre les problèmes de défense, de sécurité et de sûreté. Avec la réussite de la mission, des algorithmes quantiques seront élaborés et mis à l'essai pour améliorer l'efficacité de la logistique entourant l'utilisation de l'IA amélioré par l'informatique quantique ou pour résoudre d'autres problèmes informatiques.

Parallèlement aux recherches portant sur le développement de la technologie, RDDC mènera des recherches sur les contre-mesures en matière d'algorithme quantique.

Photo : Getty Images/Stockphoto





MISSION 4 : RÉSEAU QUANTIQUE COMMUNICATIONS QUANTIQUES

Au cours des sept prochaines années, RDDC collaborera avec des partenaires pour bâtir un réseau de communication capable de transmettre des renseignements quantiques sur de longues distances et d'utiliser des protocoles quantiques théoriquement impossibles à pirater, et en faire la démonstration.

Le rôle des technologies de l'information et de la cybersécurité ne cesse de croître dans les domaines de la défense et de la sécurité nationale allant de la protection des infrastructures critiques et spatiales du Canada à la sécurisation des communications sensibles. La menace que fait peser l'informatique quantique sur les communications s'intensifie chaque année avec les progrès réalisés sur cette technologie. Il ne s'agit pas de savoir si, mais quand les ordinateurs quantiques viendront à bout des protocoles cryptographiques actuels; le MDN et les FAC doivent s'y préparer.

Pour contrer cette menace, de nouvelles normes de cryptographie post-quantique sont en cours d'élaboration et font l'objet d'une surveillance étroite de la part d'experts pour en assurer la sécurité. Néanmoins, il est théoriquement impossible de prouver que ce genre d'algorithme est sûr. L'éventualité d'un échec des nouvelles normes cryptographiques étant réelle, la compréhension de solutions alternatives et complémentaires, telles que les communications quantiques sécurisées, présente un intérêt scientifique.

La distribution quantique de clé (DQC) est théoriquement protégée contre certains types d'attaques cryptographiques, y compris les attaques informatiques quantiques, mais elle a d'autres vulnérabilités. La DQC n'est actuellement pas recommandée pour protéger les systèmes de sécurité nationale tant que les principales failles techniques n'ont pas été résolues. D'un point de vue scientifique, ces failles représentent un appel à l'action, plutôt qu'un obstacle ou un frein à l'investissement dans la R et D.

Outre la protection des communications numériques, la diffusion de l'information quantique devrait avoir un effet multiplicateur sur la capacité d'autres technologies quantiques. À mesure que

les technologies liées à l'informatique quantique et à la détection se perfectionnent, la connexion des systèmes pour distribuer les ressources de superposition et d'enchevêtrement quantiques devrait améliorer de manière significative les performances. L'Équipe de la Défense devra alors impérativement soutenir et comprendre les garanties de sécurité de ces systèmes.

Cette mission prévoit la construction d'un réseau quantique et la démonstration des communications chiffrées quantiques comme le courrier électronique, la messagerie instantanée, les appels vocaux et vidéo. L'objectif de cette mission est de connecter de multiples sites du MDN et des FAC pour démontrer la faisabilité des canaux quantiques sol-sol locaux de même que de longue portée. Les emplacements seront choisis de telle sorte qu'ils soient suffisamment éloignés pour qu'un répéteur quantique soit requis afin de permettre la transmission fiable de l'information quantique.

L'accès à un réseau quantique fonctionnel à une installation de recherche permettra des recherches consacrées directement à la mise au point de contre-mesures et d'assurances pour les technologies de communications quantiques émergentes. La compréhension de la vulnérabilité des réseaux quantiques permettra d'améliorer la sécurité, protégeant ainsi les intérêts canadiens, mais elle peut aussi entraîner de nouvelles capacités offensives contre les pays qui déploient des réseaux quantiques ou comptent sur ceux-ci.

Cette mission est conçue pour s'appuyer d'étroites collaborations et tirerait profit de la participation d'autres organismes et ministères gouvernementaux. Les milieux universitaires et privés canadiens renferment une expertise considérable dans ce domaine et ils seront d'importants partenaires au succès de la mission.

IDENTIFICATION DES RISQUES

Quantum 2030 est un plan ambitieux, mais nécessaire, de grande envergure et qui comprend de nombreux éléments. Par conséquent, il n'est pas sans risques. Ces risques, avec leurs plans d'atténuation, sont décrits ici.

Diminution des talents mondiaux

Les gens sont au cœur de tout ce que fait l'Équipe de la Défense. Afin de suivre le rythme des technologies quantiques émergentes, le MDN et les FAC devront s'assurer d'avoir accès aux meilleurs conseils du PHQ. En même temps, l'environnement opérationnel change, et les opérateurs dans l'ensemble du MDN et des FAC doivent se familiariser avec les concepts de la technologie quantique en ce qui concerne leur rôle; on parle de « littératie quantique » et son perfectionnement au sein de l'Équipe de la Défense est un aspect important de *Quantum 2030*.

Le MDN et les FAC continueront de travailler avec les autres organismes et ministères gouvernementaux et de collaborer directement avec les partenaires externes pour s'assurer que les besoins en matière de défense, de sûreté et de sécurité pour le PHQ et la formation seront communiqués aux organismes subventionnaires et à la sphère fédérale élargie.

Infrastructure et équipement

À titre de chef de file, de conseiller de confiance, de partenaire-collaborateur et d'intégrateur des connaissances en science, en technologie et en innovation de l'Équipe de la Défense, RDDC fait face à de nombreuses priorités difficilement conciliables. RDDC fonctionne sans cesse au maximum de sa capacité de R et D au niveau classifié et non classifié. La poursuite des efforts de recherche en quantique créera une demande accrue pour la capacité de R et D classifiée et non classifiée et l'avancement d'un domaine quantique pourrait limiter les efforts de RDDC dans un autre domaine scientifique.

Tandis que les plans précis pour rehausser la capacité de R et D vont au-delà de la portée de *Quantum 2030*, le besoin d'infrastructures et d'équipements supplémentaires est reconnu comme un risque. Les délais pour construire et équiper de nouvelles installations de recherche sont longs; par conséquent, les efforts de planification doivent commencer bien avant qu'on ait besoin d'une capacité supplémentaire.

Sécurité de la recherche

À mesure que les technologies quantiques mûrissent, on craint de plus en plus que des acteurs malveillants puissent nuire aux efforts canadiens de R et D. Prévenir ou atténuer cette situation est une priorité pour le gouvernement du Canada.

Un des principaux rôles de RDDC dans l'écosystème quantique canadien est d'identifier les recherches qui sont particulièrement sensibles du point de vue de la défense et de la sécurité, et de veiller à ce que les connaissances soient protégées. Conformément à la politique du gouvernement du Canada, chaque initiative dans le cadre de *Quantum 2030* fera l'objet d'une surveillance rigoureuse afin de protéger la sécurité et l'intégrité de la recherche canadienne.

Incertitude de la recherche et développement

En raison des progrès imprévisibles de la R et D en technologie quantique, les efforts de R et D connaîtront un certain niveau de succès et d'échec. À titre d'organisation scientifique, RDDC doit accepter le risque inhérent et tolérer un certain niveau d'échec au niveau des projets.

En mettant en place une capacité quantique structurée suffisante, RDDC aura les compétences nécessaires pour atténuer le risque ou la gravité d'un échec, ainsi que la possibilité d'apprendre de la recherche scientifique quantique non productive pour s'adapter si nécessaire. En travaillant avec un vaste éventail d'alliés et de partenaires, le risque et le retour peuvent être distribués.

Utilisation éthique de la science et technologie quantique

Les technologies quantiques devraient permettre des améliorations notables de certaines fonctions de renseignement, surveillance et reconnaissance (RSR) et de traitement de l'information. Par conséquent, pour accompagner la nécessité de développer de nouvelles technologies quantiques, le MDN et les FAC chercheront à comprendre les répercussions éthiques de leur utilisation dans les milieux de la défense, de la sûreté et de la sécurité. Celles-ci comprennent, entre autres, les considérations éthiques associées au biais des ensembles de données utilisés pour former l'IA/AM, vu leur lien avec l'informatique quantique et l'IA/AM.

APPROCHE PROGRESSIVE AUX MISSIONS QUANTIQUES

PHASE 1 : Transition vers l'approche stratégique des technologies quantiques Première année (AF 2023-2024)

La première phase commence officiellement par la publication de *Quantum 2030*. Durant cette phase, RDDC renforcera sa capacité de fournir des conseils stratégiques améliorés à l'Équipe de la Défense en ce qui concerne les technologies quantiques émergentes. Par exemple, l'industrie quantique canadienne devrait croître grâce à l'injection de fonds considérables de la SQN, et RDDC devra surveiller ces développements accélérés. De la recherche sur le développement et l'utilisation des technologies quantiques de manière éthique dans le contexte de défense, de sûreté et de sécurité sera entreprise en partenariat avec d'autres organismes et ministères gouvernementaux. L'engagement avec les partenaires et les alliés augmentera graduellement sur le plan de la quantité, de l'importance et de l'ambition.

Pour se préparer aux missions quantiques, une harmonisation stratégique et une croissance ciblée à l'échelle de l'Équipe de la Défense auront lieu pendant cette phase. RDDC élargira ses efforts pour recruter des scientifiques qui peuvent diriger ou appuyer les domaines stratégiques identifiés dans les missions quantiques. La formation et l'éducation du personnel existant seront également importantes pour le renforcement de la littératie quantique dans l'Équipe de la Défense.

PHASE 2 : Entreprendre des projets qui appuient *Quantum 2030* Années deux à quatre (AF 2024-2025 à AF 2026-2027)

Cette phase comprend la majorité des travaux scientifiques et verra le lancement des missions quantiques. Il convient de noter que la plupart des fondements scientifiques des missions existent déjà, et la recherche sera menée parallèlement aux activités des deux premières années.

La définition de jalons et des études de faisabilité technique des missions auront lieu durant la première année de la phase 2 (année deux), et des plans seront en place avant la fin de la deuxième année. Ces études de faisabilité permettront de planifier de façon détaillée la transition des prototypes de technologies quantiques vers des applications de défense. Une fois ces études et la définition des jalons terminées, les missions quantiques pourront être précisées afin d'établir des plans et des résultats réalistes. Lorsque les plans techniques seront établis, un appui officiel devra être obtenu conformément aux processus organisationnels existants.

La Stratégie S et T quantique (SSTQ) et *Quantum 2030* représentent la première approche proactive et coordonnée du MDN et des FAC en ce qui a trait aux technologies émergentes et technologies de rupture (TE/TR). La documentation des leçons apprises de ce processus pour orienter les futures stratégies de TE/TR, et l'appui de la mise en œuvre par des conseils opportuns à mesure que le paysage quantique évolue seront des occasions précieuses de maximiser les chances de réussite et finalement de fournir les meilleurs conseils scientifiques possibles à l'Équipe de la Défense. Dans le cadre de la gestion normale des activités, un rapport d'étape sur la mise en œuvre sera élaboré pour la fin de la phase 2 (année quatre).

PHASE 3 : Essais et démonstrations sur le terrain qui accélèrent l'adoption et la transition Années cinq à sept (AF 2027-2028 à AF 2029-2030)

La troisième et dernière phase est axée sur les essais et l'adoption rapide. D'ici la fin de cette phase, les technologies quantiques de pointe atteindront un point où les démonstrations sur le terrain de prototypes pourront avoir lieu. Les technologies prototypes dans le cadre de chacune des quatre missions seront démontrées à un NMT 7 avant la fin de la phase 3.

Avec la conclusion de la mise en œuvre de *Quantum 2030*, un rapport rétrospectif sera rédigé durant l'année sept afin de documenter les leçons apprises et de faire rapport sur l'état d'avancement de l'approche stratégique du MDN et des FAC en science et technologie quantique.

Conclusion

Au cours des dix prochaines années, on s'attend à ce que les développements dans le domaine des TE/TR transforment le paysage de la défense, de la sûreté et de la sécurité. Ces technologies offrent d'importantes possibilités et présentent de grands défis à la défense et à la sécurité. Pour se préparer et s'adapter à l'environnement opérationnel futur, le Canada et ses alliés élaborent des approches stratégiques aux TE/TR qui équilibrent l'utilisation responsable, l'adoption rapide et la protection contre les menaces.

Avant la fin de l'année 2030, le paysage de la technologie quantique sera certainement bien différent. De nombreuses technologies pourront être utilisées durant les opérations, tandis que d'autres auront échoué en raison de défis techniques ou commerciaux. Il est impossible de prédire aujourd'hui celles qui réussiront et celles qui échoueront; il sera important que le MDN et les FAC puissent s'adapter en conséquence. Même si *Quantum 2030* s'appuie sur l'écosystème quantique canadien bien établi et de classe mondiale, le plan est un nouveau point de départ pour le MDN et les FAC qui guidera les efforts d'amélioration continue vers un environnement opérationnel quantique futur en matière de défense et de sécurité. Le plan *Quantum 2030* renforcera les capacités, les partenariats, et la cohérence à l'échelle de l'Équipe de la Défense afin de minimiser les risques futurs pour des opérations réussies et sûres en prenant des risques stratégiques et fondés sur des données probantes en matière de R et D, maintenant et dans les années à venir.

Acronymes

ACS+	Analyse comparative entre les sexes plus	MDN	ministère de la Défense nationale
AF	année financière	NMT	niveau de maturité de la technologie
AM	apprentissage machine	OTAN	Organisation du Traité de l'Atlantique Nord
ASC	Agence spatiale canadienne	PCSS	Programme canadien pour la sûreté et la sécurité
CBRN	chimique, biologique, radiologique et nucléaire	PE	protocole d'entente
CNRC	Conseil national de recherches Canada	PHQ	personnel hautement qualifié
CPQ	cryptographie post-quantique	PNS	position, navigation et synchronisation
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada	QEYSSat	Quantum EncrYption and Science Satellite
CST	Centre de la sécurité des télécommunications	R et D	recherche et développement
DQC	distribution quantique des clés	RDDC	Recherche et développement pour la défense Canada
É.-U.	États-Unis	RSR	renseignement, surveillance et reconnaissance
FAC	Forces armées canadiennes	S et T	science et technologie
GPS	système mondial de positionnement	SIC	Solutions innovatrices Canada
GTPQ	groupe de travail sur la politique quantique	SQN	Stratégie quantique nationale
IA	intelligence artificielle	SSTQ	Stratégie S et T quantique : se préparer à des ruptures technologiques dans l'environnement opérationnel futur
IDeES	Innovation pour la défense, l'excellence et la sécurité	STSD	science et technologie pour la sécurité et la défense
IRDQ	Initiative de recherche et développement en quantique	TE/TR	technologies émergentes et technologies de rupture
ISDE	Innovation, Sciences et Développement économique Canada	TTCP	Programme de coopération technique
LIDAR	détection et télémétrie par ondes lumineuses		

Annexe –

NIVEAUX DE MATURITÉ DE LA TECHNOLOGIE

Les niveaux de maturité de la technologie (NMT) suivants sont utilisés dans *Quantum 2030*. Plus d'informations sont disponibles sur [Niveaux de maturité technologique](#)⁷. Il existe neuf NMT, 1 étant le moins avancé et 9 étant prêt au déploiement dans des conditions réelles.

Niveau 1 : Observation et consignation des principes de base du concept

La recherche scientifique commence à donner lieu à la recherche appliquée et au développement. Les activités pourraient inclure des études sur les propriétés de base d'une technologie.

Niveau 2 : Concept technologique ou application déterminé

Début des inventions. Une fois les principes de base observés, il s'agit d'inventer les applications pratiques. Les activités sont limitées à des études analytiques.

Niveau 3 : Fonction critique et analytique expérimentale ou validation de principe

La recherche et développement active démarre. L'étape doit comprendre des études analytiques ou des études en laboratoire. Les activités pourraient inclure des composants qui ne sont pas encore intégrés ou représentatifs.

Niveau 4 : Validation des éléments ou des conditions d'essai en laboratoire

Les composants technologiques de base sont intégrés pour valider le bon fonctionnement commun. Les activités incluent l'intégration en laboratoire de matériel « spécial ».

Niveau 5 : Validation des éléments ou des conditions d'essai en environnement simulé

Les composants technologiques de base sont intégrés, aux fins d'essais dans un environnement simulé. Les activités incluent l'intégration de composants en laboratoire.

Niveau 6 : Démonstration d'un modèle ou d'un prototype du système ou du sous-système dans un environnement simulé

Le modèle ou le prototype représente une configuration quasi souhaitée. Les activités incluent l'essai dans un environnement opérationnel ou un laboratoire simulé.

Niveau 7 : Prototype prêt pour la démonstration dans un environnement opérationnel approprié

Le prototype a atteint l'état opérationnel prévu et est prêt pour la démonstration dans un environnement opérationnel. Les activités incluent l'essai du prototype sur le terrain.

Niveau 8 : Technologie actuelle mise au point et qualifiée par des essais et des démonstrations

Il est prouvé que la technologie fonctionne dans sa forme finale et dans les conditions prévues. Les activités incluent des essais de mise au point et des évaluations afin d'établir si la technologie répond aux exigences opérationnelles.

Niveau 9 : Validation de la technologie réelle par le déploiement réussi dans un contexte opérationnel

Application concrète de la technologie dans sa forme finale et dans des conditions réelles, comme celles s'appliquant au cours des essais et de l'évaluation opérationnels. Les activités incluent l'utilisation de l'innovation dans des conditions de conduite opérationnelle.

⁷ Pour obtenir de plus amples renseignements, le lecteur pourra consulter le lien: <https://ised-isde.canada.ca/site/innovation-canada/fr/niveaux-maturite-technologique>.

