

Évaluation du Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture

Bureau de la vérification et de l'évaluation

20 décembre 2023

Le présent rapport a été approuvé par le président du CNRC le 20 décembre 2023.

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada

Représenté par le Conseil national de recherches du Canada, 2024.

No de cat. NR16-435/1-2024F-PDF

ISBN 978-0-660-70010-6



Table des matières

- 05** [Introduction](#)
- 08** [Profil](#)
- 18** [Excellence scientifique](#)
- 28** [Répercussions socioéconomiques](#)
- 34** [Axe de recherche](#)
- 43** [Mobilisation](#)
- 50** [Capacités, compétences et installations](#)
- 63** [Recommandations et Réponse et plan d'action de la direction](#)
- 68** [Annexes](#)



Abréviations

ACS Plus

Analyse comparative entre les sexes plus

AM

Autre ministère

AR

Agent ou agente de recherches

BNP

Bureau national des programmes

BPD

Boursiers postdoctoraux

CCCR

Commission consultative des centres de recherche

CCPE

Centre conjoint de photonique extrême CNRC-Université d'Ottawa

CDP

Centre de recherche, direction ou PARI CNRC

CEP

Comité d'examen par les pairs

CNRC

Conseil national de recherches du Canada

CQ

Programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques »

CRSNG

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

DG

Directeur général ou directrice générale

EDI

Équité, diversité et inclusion

EPA

Centre de recherche en électronique et photonique avancées

FIPD

Facteur d'impact pondéré par discipline

IRC

Indicateur de rendement clé

JASLab

Laboratoire mixte pour la science de l'attoseconde

MDN/RDDC

Ministère de la Défense nationale (organisme d'origine)/Recherche et développement pour la défense Canada

MINK

Encres moléculaires

NANO

Centre de recherche en nanotechnologie

NMT

Niveau de maturité technologique

NTNB

Nanotubes de nitrure de bore

PHQ

Personnel hautement qualifié

PI

Propriété intellectuelle

PME

Petite et moyenne entreprise

SQN

Stratégie quantique nationale

SWCNT

Nanotubes de carbone simple paroi

TSR

Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture



Introduction

L'évaluation du Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture (TSR) du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) a porté sur une période de 5 ans, soit de l'exercice 2017-2018 à l'exercice 2022-2023. Elle a été réalisée conformément au Plan d'évaluation ministérielle du CNRC et à la Politique sur les résultats (2016) du Conseil du Trésor. Le centre de recherche en question a été évalué pour la dernière fois en 2017-2018.

Le présent rapport commence par dresser un profil du centre de recherche. Il présente ensuite les résultats de TSR sur :

- l'excellence scientifique et la capacité de faire progresser les connaissances en science et technologie quantiques et en science des matériaux de pointe;
- les contributions à l'innovation en entreprise et aux solutions stratégiques gouvernementales;
- la pertinence de l'objectif de la recherche;
- la mobilisation des clients, des collaborateurs et des intervenants; et
- les capacités, les compétences et les installations.

Les constatations de l'évaluation font suite à 3 recommandations visant à améliorer TSR.

Dans le présent rapport, vous verrez les symboles suivants :



Ce symbole indique l'information qu'il est utile de connaître pour aider à comprendre les résultats.



Ce symbole indique une citation qui aide à illustrer ou à appuyer les principales constatations.



Ce symbole indique l'information qui appuie l'équité, la diversité, l'inclusion et l'Analyse comparative entre les sexes plus (c.-à-d. les facteurs qui permettent d'évaluer les répercussions potentielles des politiques, des programmes ou des initiatives sur divers groupes).



Approche d'évaluation

Approche

La présente évaluation a utilisé une approche à méthodes mixtes, intégrant des données qualitatives et quantitatives provenant de plusieurs sources de données, y compris un examen par les pairs. Cela a permis la triangulation et la complémentarité des constatations de l'évaluation. De plus, une optique d'Analyse comparative entre les sexes plus (ACS Plus) a été appliquée tout au long de l'évaluation.

Méthodes

L'évaluation comprenait :

- l'examen de documents (y compris l'analyse bibliométrique et les rapports sur le marché du travail)
- l'analyse de données (données administratives et de rendement)
- la recherche qualitative auprès d'intervenants interrogés clés : entrevues internes (n = 15); entrevues externes (n = 20); questionnaire en ligne (n = 22)
- l'examen par les pairs avec des experts nationaux et internationaux en la matière (n = 8)

Remarque sur la portée

En novembre 2022, le directeur général (DG) de TSR a assumé la direction du Centre de recherche en électronique et photonique avancées (EPA) (sauf le Centre de fabrication pour la photonique du Canada) et du Centre de recherche en nanotechnologie (NANO), en plus de TSR. Ce changement a été apporté afin de cerner les possibilités de rapprocher les capacités des 3 centres de recherche, tout en augmentant les retombées et les synergies des équipes et des installations de recherche.

Le 25 septembre 2023, il a été annoncé que les 3 centres de recherche seraient regroupés sous le nouveau Centre de recherche sur les technologies quantiques et les nanotechnologies, lequel sera inauguré le 1 avril 2024. Cette réorganisation n'a pas été incluse dans la portée de l'évaluation.



Approche d'évaluation

Questions liées à l'évaluation

1. Dans quelle mesure le centre de recherche est-il un chef de file sur le plan de l'excellence scientifique et de la promotion des connaissances en sciences et technologies quantiques¹ et en science des matériaux de pointe?
2. Dans quelle mesure le centre de recherche contribue-t-il à l'innovation en entreprise et aux solutions stratégiques gouvernementales (p. ex., économique, sociale et liée à la sécurité)?
3. Le centre de recherche se concentre-t-il sur les bons domaines pour assurer la pertinence dans les écosystèmes canadiens de la science et des technologies quantiques et de la science des matériaux de pointe?
4. Le centre de recherche a-t-il collaboré avec les clients, les collaborateurs et les intervenants appropriés de manière stratégique et efficace?
5. Dans quelle mesure le centre de recherche a-t-il les capacités, les compétences et les installations requises pour atteindre ses objectifs à l'avenir?

¹ La science et la technologie quantiques comprennent la photonique quantique et l'électronique quantique.

L'[annexe A](#) contient des renseignements sur les méthodes employées et l'[annexe B](#) comprend les limites. L'[annexe C](#) contient les biographies des membres du Comité d'examen par les pairs (CEP).

Profil

Le Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture (TSR) se spécialise dans la science et les technologies quantiques et la science des matériaux de pointe, travaillant avec un large éventail de clients et de collaborateurs de nombreux secteurs, ainsi qu'avec d'autres centres et programmes de recherche du CNRC pour créer de nouvelles plateformes technologiques applicables à un éventail d'industries. Le centre de recherche est l'hôte du programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » (CQ) et est un collaborateur clé du Centre conjoint de photonique extrême (CCPE) CNRC-Université d'Ottawa.

Vue d'ensemble du centre de recherche

TSR met l'accent sur la science et la technologie quantiques (p. ex., la photonique, la science de l'attoseconde) et la science des matériaux de pointe (p. ex., technologie des matériaux de sécurité).

Vision (2019-2024)

TSR vise à devenir un chef de file mondial dans la science quantique fondamentale et de la science des matériaux. Le centre de recherche recense les tendances technologiques émergentes et les traduit en plateformes technologiques de rupture d'importance stratégique pour bâtir un Canada et un monde meilleurs. La mission du centre de recherche est de :



Faire progresser les connaissances scientifiques grâce à des recherches fondamentales de calibre mondial en physique quantique et en science des matériaux.



Fournir à des partenaires gouvernementaux stratégiques des solutions stratégiques liées aux innovations de rupture dans les technologies quantiques et les nanomatériaux.



Mobiliser le milieu de la recherche scientifique, gouvernementale et industrielle pour soutenir l'innovation en entreprise grâce à la collaboration en matière de recherche, à la création de propriétés intellectuelles (PI), à des ateliers, à des feuilles de route, à des projets technologiques et à des symposiums, afin d'offrir des solutions sociales, économiques et environnementales au Canada.

Priorités stratégiques quinquennales (2019-2024)

- 1. Soutenir le leadership scientifique mondial en sélectionnant des domaines de recherche émergents en sciences physiques** : le TSR vise à être un chef de file mondial dans le domaine émergent que constitue la photonique quantique ultrarapide et dans la chimie des nanomatériaux de conception de prochaine génération.
- 2. Maintenir une culture d'excellence en recherche entrepreneuriale en laboratoire** : le centre de recherche a l'intention d'avoir une culture de recherche qui favorise la créativité entrepreneuriale et qui produit à la fois des idées scientifiques et technologiques de rupture de calibre mondial.
- 3. Bâtir un financement durable pour soutenir l'excellence en recherche** : le TSR prévoit de conclure des partenariats solides avec des organisations gouvernementales, des universités et des industries dont les missions nécessitent intrinsèquement le recours à des sciences et des technologies de rupture de premier ordre.

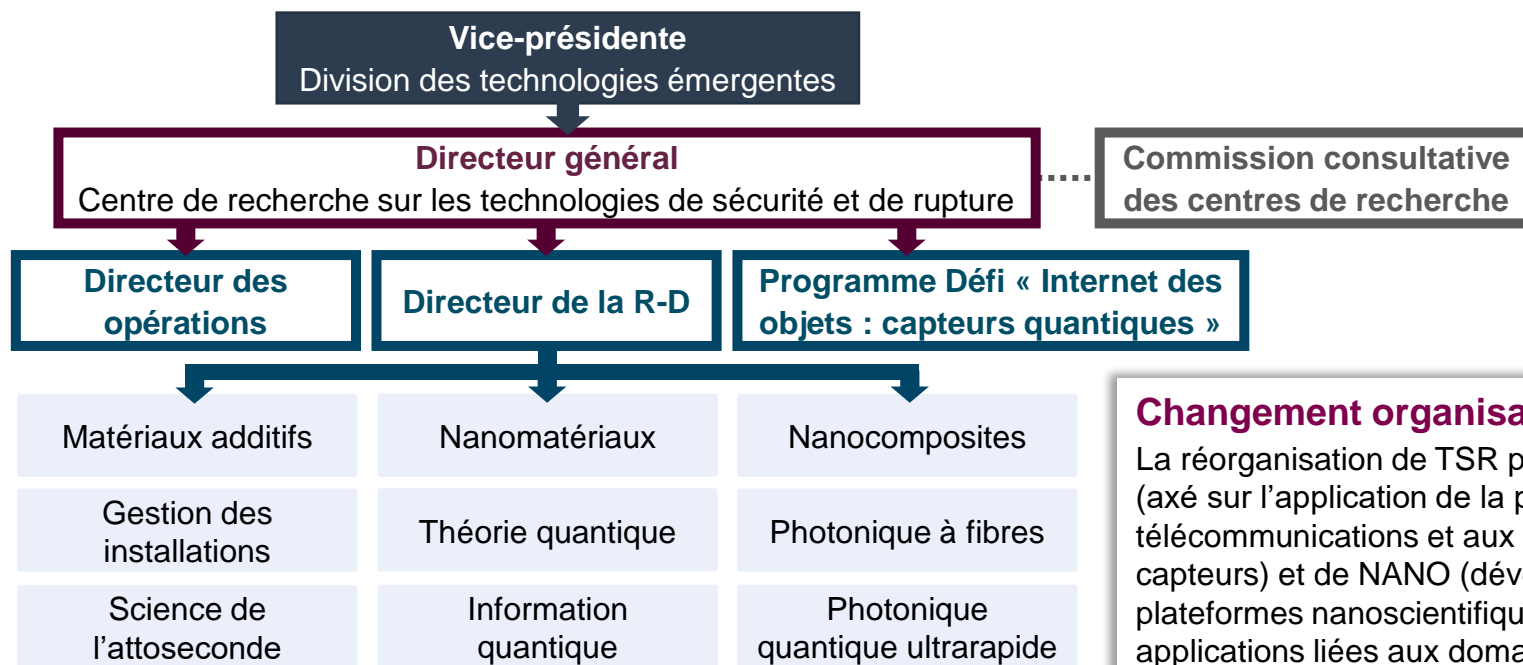
Au cours de l'évaluation, la planification stratégique pour l'exercice 2024-2029 était en cours; par conséquent, la nouvelle vision et les nouvelles priorités ne sont pas prises en compte ici.



Structure organisationnelle

TSR fait partie de la division des technologies émergentes du CNRC. Le directeur général (DG) du centre de recherche reçoit des conseils stratégiques d'une commission consultative des centres de recherche (CCCR) indépendante. Huit (8) équipes de recherche et une équipe de gestion des installations sont dirigées par le directeur de la recherche et du développement (R-D) et appuyées par le directeur des opérations.

Figure 1. Structure organisationnelle de TSR (2022-2023)



Changement organisationnel

La réorganisation de TSR pour y inclure EPA (axé sur l'application de la photonique aux télécommunications et aux composants des capteurs) et de NANO (développe des plateformes nanoscientifiques pour des applications liées aux domaines de la santé, de l'environnement et des technologies futures) a eu lieu au cours de la période d'évaluation. Les répercussions et les synergies des équipes de recherche et des installations n'étaient pas au centre de l'évaluation.



Ressources humaines

Au 31 mars 2023, TSR comptait un total de 109 employés, la plus grande partie étant des agents de recherches (40 %).



TSR a amélioré sa représentation des femmes et des personnes racisées au cours de la période d'évaluation; toutefois, les pourcentages demeurent inférieurs à la disponibilité sur le marché du travail

Groupe Équité en matière d'emploi	Disponibilité du marché du travail en 2017-2018 ²	Disponibilité du marché du travail en 2022-2023 ²
Femmes	65 %	80 %
Personnes racisées	70 %	97 %
Autochtones	*	*
Personnes en situation de handicap	*	*

² La disponibilité sur le marché du travail est calculée à partir du recensement de 2016 et de l'Enquête canadienne sur l'incapacité de 2017. Un résultat de 100 % signifie que le pourcentage d'employés du groupe Équité est égal à la disponibilité sur le marché du travail.

* Les chiffres représentant 5 employés ou moins sont caviardés en raison des règles de confidentialité relatives à l'auto-identification.



Ressources humaines



Analyse comparative entre les sexes plus (ACS Plus)

L'ACS Plus est un processus analytique utilisé par le gouvernement du Canada. Il fournit une méthode rigoureuse pour évaluer les inégalités systémiques et un moyen d'évaluer les répercussions possibles des politiques, des programmes ou des initiatives sur les femmes, les hommes et les personnes de diverses identités de genre.

En ce qui concerne les répercussions de la recherche menée par TSR sur divers groupes de personnes, les intervenants interrogés clés ont indiqué que la recherche et les technologies mises au point par le centre de recherche sont généralement à un faible niveau de maturité technologique (NMT) et ont des applications universelles, ne ciblant ainsi aucun groupe particulier.



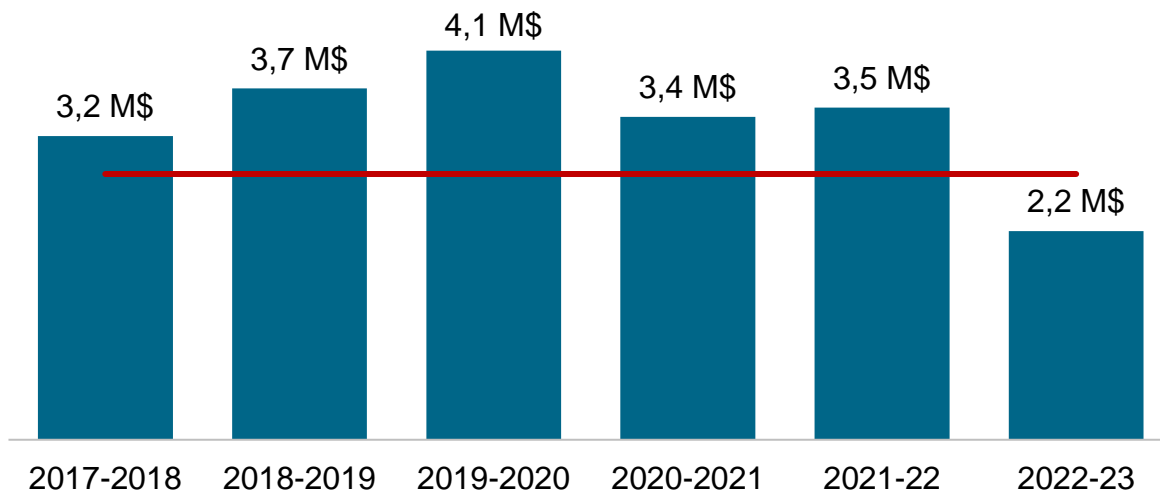
Ressources financières



Budget annuel moyen : 13,3 M\$

Revenus annuels moyens : 3,4 M\$

Figure 2. À l'exception de l'exercice 2022-2023, les revenus ont dépassé la cible au cours de la période d'évaluation



À partir de l'exercice 2019-2020, TSR a obtenu des fonds d'autres sources, mais ceux-ci ne sont pas considérés comme des revenus. La principale source était un transfert de crédits du Ministère de la Défense nationale (organisme d'origine)/Recherche et développement pour la défense Canada (MDN/RDDC) de 5,8 M\$ sur 3 ans pour appuyer un partenariat dans le secteur des technologies quantiques.



Ressources financières

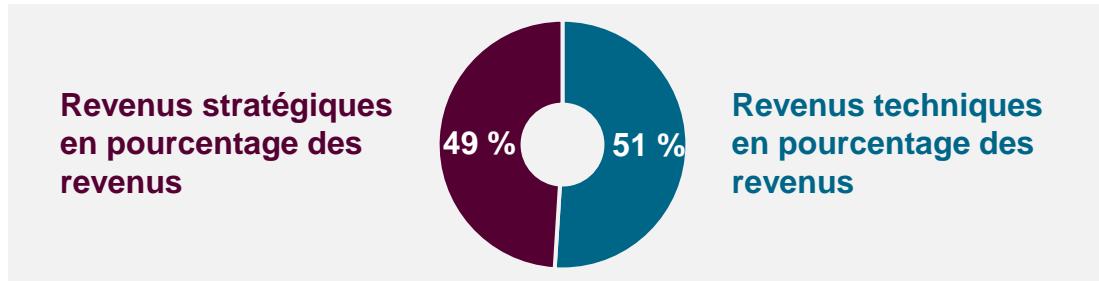
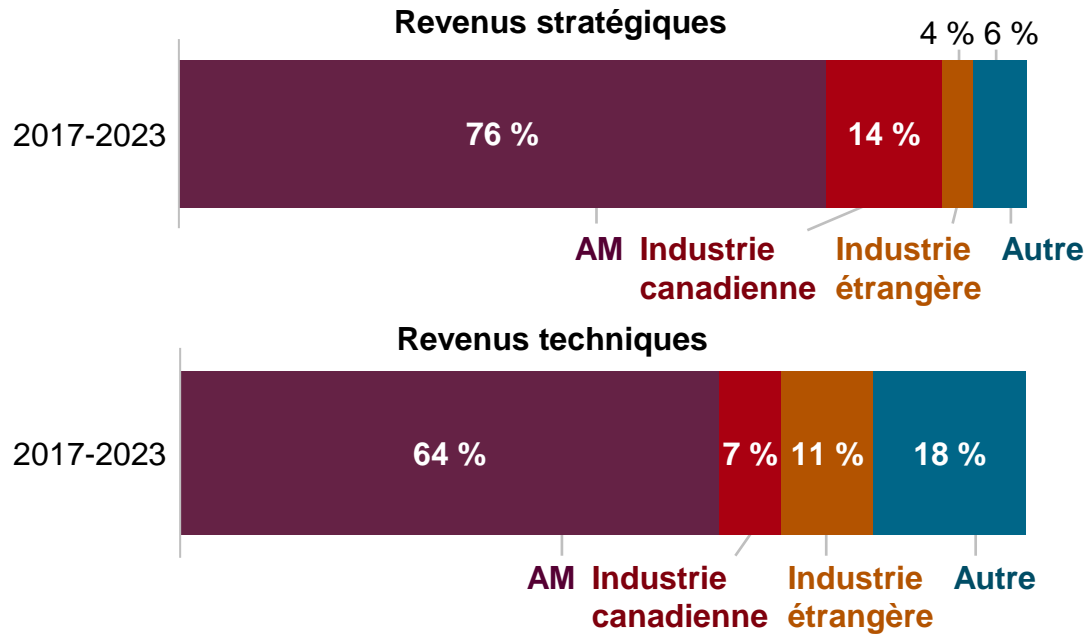


Figure 3. Le pourcentage le plus élevé des revenus tirés de la recherche stratégique et des services techniques provenait d'autres ministères



Remarque : il n'y avait pas de revenus attendus ou gagnés des projets du CQ



Installations

TSR exerce ses activités à partir d'installations de recherche dans 2 emplacements d'Ottawa en Ontario :



100, promenade Sussex

- photonique à fibres
- Laboratoire mixte pour la science de l'attoseconde (JASLab)
- laboratoires de matériaux de pointe
- installation de photonique quantique ultrarapide



1200, chemin Montréal

- laboratoires de matériaux de pointe
- production de nanomatériaux
- installation d'information quantique



M-50 : laboratoires d'information quantique

M-23A : réacteur à plasma, fabrication de nanomatériaux

M-12 : laboratoires de chimie, capteurs, matériaux électroniques



Programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » et CCPE

Le programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » (CQ) a été approuvé en mai 2021. Il est hébergé et géré par TSR et administré par le Bureau national des programmes (BNP). L'objectif du programme est de permettre le développement de capteurs révolutionnaires qui exploitent l'extrême sensibilité de la science quantique, grâce à la recherche et au développement collaboratifs.

Les objectifs du programme sont de maintenir le Canada à l'avant-garde de la science en matière de capteurs quantiques; permettre la transition et la commercialisation; et jouer un rôle dans une approche nationale des technologies quantiques.

Le CQ vise à faire progresser les connaissances scientifiques et techniques en fournissant des subventions et des contributions selon 3 thèmes principaux :



Photonique quantique pour les applications de détection

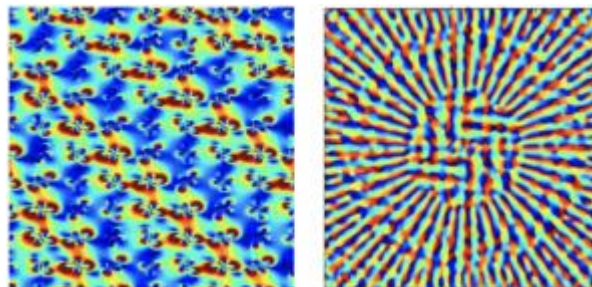


Systèmes de détection quantique fondée sur les semi-conducteurs



Détection quantique pour la métrologie et les normes de nouvelle génération

Le CCPE est une entreprise conjointe du CNRC et de l'Université d'Ottawa. Inauguré à Ottawa le 31 janvier 2020, le CCPE a été créé pour amplifier les efforts de recherche du CNRC et de l'Université d'Ottawa dans le domaine de la photonique et constitue un centre d'innovation pour la recherche en photonique extrême et quantique.



Projet CCPE de M. Vampa, Ph. D., et de M. Ramunno, Ph. D. : instantané d'une simulation à grande échelle d'une métasurface plasmonique (à gauche, seule une petite section est montrée) conçue pour créer un état de moment angulaire orbital d'ordre élevé à la 3e harmonique (à droite).

Source : [Projets CCPE \(extremephotonics.com\)](https://extremephotonics.com)

La sélection des projets du CQ et les examens annuels tiennent compte de l'**ACS Plus**. À la clôture du projet, les programmes Défi examinent comment les différences de sexe, de race et d'identification ont influé sur les résultats des projets concernés.



Profil des clients et des collaborateurs

TSR travaille avec un large éventail de clients et de collaborateurs de nombreux secteurs et d'autres centres et programmes de recherche du CNRC.

TSR collabore avec le milieu universitaire, l'industrie, d'autres ministères, des gouvernements étrangers, d'autres centres de recherche du CNRC, d'autres programmes du Programme Défi du CNRC et des initiatives du Fonds d'idéation du CNRC. Voici des exemples de clients et de collaborateurs :



Milieu universitaire

- Universités canadiennes (p. ex., Calgary, Waterloo, Sherbrooke, Ottawa, Colombie-Britannique, Toronto, Polytechnique Montréal, McMaster et McGill)
- Universités internationales (p. ex., Max Planck, Sunchon, Imperial College, Ludwig Maximilian et Perimeter Institute)



Industrie

- petites et moyennes entreprises (p. ex., Logistik Unicorp, Fibos, Collins Aerospace, Raymor, Tekna Systems, e2ip, SBQuantum, evolutionQ Inc. et Xanadu Quantum Technologies)



Autres ministères

- MDN/RDDC, Centre des télécommunications et de la sécurité, Agence spatiale canadienne, Ressources naturelles Canada, Santé Canada



Gouvernements étrangers

- Defence Science and Technology Organisation (Australie), Korea Institute of Science and Technology, National Institute of Standards and Technology (États-Unis)



Centres de recherche, centres de collaboration et programmes du Programme Défi du CNRC

- autres centres de recherche du CNRC : aérospatiale, automobile et transports de surface, technologies numériques
- centres de collaboration : CCPE, Centre de collaboration sur les matériaux énergétiques verts du CNRC et de l'Université de Toronto
- programmes Défi : Réseaux sécurisés à haut débit, Matériaux pour combustibles propres, Vieillir chez soi, Intelligence artificielle au service de la conception



Initiatives du Fonds d'idéation du CNRC

- Nouveaux débuts : collaborations avec les bénéficiaires de subventions et de contributions (25 000 \$ et moins)



Excellence scientifique

La mesure dans laquelle le Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture (TSR) est un chef de file sur le plan de l'excellence scientifique varie au sein du centre de recherche. Certaines activités, en particulier dans les sciences et les technologies quantiques, étaient de calibre mondial; tandis que d'autres, au chapitre des matériaux de pointe, ont joué un rôle de soutien.

TSR a été reconnu pour son leadership scientifique et a fait progresser les connaissances scientifiques, dépassant les objectifs de publication et publiant dans des revues prestigieuses. Le facteur d'impact pondéré par discipline (FIPD) de TSR a été positif, mais a pris du retard par rapport à ceux de l'ensemble du CNRC et du Canada. TSR a dépassé les objectifs de propriété intellectuelle (PI), en particulier dans le domaine des matériaux de pointe.

Leadership scientifique

TSR a été reconnu pour son leadership scientifique grâce aux prix nationaux et internationaux qu'il a remportés et à ses invitations à des comités et à des présentations dans le cadre de conférences.

TSR a reçu une reconnaissance scientifique internationale

TSR a été reconnu pour son leadership scientifique grâce aux prix qu'il a remportés et à la participation à des congrès, en particulier dans le secteur de la science et des technologies quantiques.

Entre l'exercice 2017-2018 et l'exercice 2021-2022, le centre de recherche a reçu 15 prix et reconnaissances (13 nationaux et 2 internationaux) et 2 prix d'excellence en propriété intellectuelle du CNRC.



Paul Corkum, Ph. D., a partagé le prix Wolf 2022 en physique.



Chantel Paquet, Ph. D., a reçu le prix Women in Flexible and Hybrid Electronics Science, Technology, Engineering and Mathematics (lors du Symposium canadien sur l'électronique imprimée et souple 2022).

TSR a fait preuve de leadership dans les conférences et les comités

Le personnel de TSR a fait des présentations dans le cadre de 46 congrès nationaux ou internationaux. Il a participé à 32 comités (13 canadiens, 19 internationaux), dont au moins 15 à titre de dirigeants ou organisateurs et 3 à titre d'experts :

- ambassadeur auprès de l'Institut coréen des sciences et de la technologie
- expert pour le comité technique, nanotechnologies TC229 pour l'Organisation internationale de normalisation
- comité directeur et chef de projet pour le Versailles Project on Advanced Materials and Standards



Leadership scientifique

La mesure dans laquelle TSR est un chef de file en matière d'excellence scientifique varie. Certaines activités, en particulier dans les sciences et les technologies quantiques, ont été de calibre mondial; tandis que d'autres, au chapitre des matériaux de pointe, ont joué un rôle de soutien.

La science et la technologie quantiques ont démontré que celui-ci faisait preuve de leadership mondial

Le CEP a fait remarquer que TSR a fait preuve d'excellence scientifique et de leadership au Canada en participant à la Stratégie quantique nationale (SQN). Le comité a reconnu TSR comme leader mondial ou ayant des forces dans la science de l'attoseconde, le traitement photonique ultrarapide et les qubits de spin de germanium.

Les clients et les collaborateurs ont également indiqué que TSR est un chef de file national et international dans ses créneaux. Leurs points de vue ont été appuyés par des exemples de leadership dans les domaines de la technologie des points quantiques, de la communication quantique et de la science de l'attoseconde.

Les recherches fondamentales menées par TSR en théorie quantique et en calcul ont permis au centre de recherche d'être reconnu comme un chef de file mondial dans la simulation de nouvelles techniques ultrarapides et d'applications de communication et d'information quantique; et a accru la réputation de TSR en tant que collaborateur recherché.

Projet de distribution quantique des clés

Ce projet de TSR a placé le Canada à l'avant-garde des communications quantiques en établissant la plus longue liaison de communication quantique intra-urbaine dans l'espace libre au monde.

La recherche sur les matériaux de pointe de TSR a soutenu et a maintenu la compétence dans ce domaine

Les travaux sur l'impression volumétrique 3D ont été désignés par le CEP comme des travaux de pointe dans le groupe des sciences des matériaux de pointe, tandis que d'autres éléments de cette section ont été jugés plus favorables plutôt qu'innovants. En ce qui concerne l'impression 3D volumétrique, le CEP a indiqué que TSR avait établi une présence valorisée en relativement peu de temps. Il a également noté que les chercheurs du domaine des nanotubes de carbone de TSR ont maintenu la compétence dans ce domaine. TSR a fait progresser le procédé de purification des nanotubes de carbone simple paroi (SWCNT) et a soutenu l'innovation par l'intermédiaire de programmes Défi et des initiatives de « Petites équipes ».

L'**impression 3D** volumétrique est un nouveau type d'impression 3D par ondes lumineuses, dans laquelle la lumière est projetée dans un flacon rotatif de résine photocurable. Cela permet d'imprimer l'ensemble du volume à la fois.



Faire progresser les connaissances

TSR a contribué à l'avancement des connaissances en science et technologie quantiques et en science des matériaux de pointe.

Excellence scientifique démontrée et connaissances scientifiques avancées

Les clients et les collaborateurs ont indiqué que la collaboration avec TSR a donné lieu à des publications, à de nouveaux partenariats, à des découvertes et à des réalisations, ainsi qu'à des capacités d'innovation dans le milieu universitaire.

La science et la technologie quantiques de TSR ont donné aux partenaires l'occasion d'explorer des hypothèses expérimentales et à faible NMT, ce qui a conduit à de nouvelles idées expérimentales, à d'autres recherches et à des publications. Les intervenants interrogés clés ont invoqué des progrès tels que les points quantiques, la science de l'attoseconde, la détection quantique et le développement de sources quantiques à photon unique.

Le Centre conjoint de photonique extrême CNRC–Université d'Ottawa (CCPE)) est une collaboration qui fait progresser les connaissances scientifiques. Il permet de maintenir une solide collaboration avec l'Université d'Ottawa et attire du personnel hautement qualifié (PHQ), y compris des boursiers de recherches postdoctorales et des étudiants. L'agent de recherches principal et codirecteur du CCPE du CNRC jouit d'une excellente réputation et a établi d'autres relations.

En science des matériaux de pointe, les clients et les collaborateurs ont bénéficié des technologies et des matériaux développés par TSR dans des domaines tels que les nanotubes de nitrure de bore (NTNB), les nanotubes de carbone, l'électronique imprimable et les encres moléculaires (MINK).



Faire progresser les connaissances

Des projets clés ont démontré que des progrès ont été réalisés dans les connaissances

Les projets de science et de technologie quantiques comprenaient :

- Un projet de points quantiques a démontré une source de photon unique « plug-and-play », qui pourrait avoir des retombées au chapitre des technologies de l'information quantique et les communications sécurisées.
- Un projet reliant les solides et les gaz a permis de donner naissance à un vaste champ d'applications potentielles (p. ex., de nouvelles approches pour l'imagerie des champs électriques dans les circuits semi-conducteurs), et la documentation sur le sujet continue de citer cette recherche.
- Un projet qui a exploré la limite de vitesse où les domaines magnétiques peuvent être commutés de manière réversible et a réalisé la production et la caractérisation des impulsions en THz est appliqué aux semi-conducteurs afin d'améliorer la vitesse des ordinateurs pour qu'ils fonctionnent plus rapidement.

Les projets de matériaux de pointe comprenaient :

- Un projet a permis de développer les formulations d'encre et les conditions pour la fabrication d'électronique imprimée dans le moule pour les surfaces dotées de dispositifs électroniques intégrés (p. ex., lumières, capteurs tactiles). TSR continue de travailler avec l'industrie privée pour élargir la gamme de fonctionnalités (p. ex., capteurs, antennes) et améliorer l'expérience homme-machine dans des secteurs comme l'automobile et l'aérospatiale.



Faire progresser les connaissances

Le CQ a fait progresser la recherche et la collaboration, mais a causé des problèmes de ressources internes

Les intervenants interrogés clés externes avaient des opinions positives sur les CQ, indiquant qu'il faisait progresser la recherche à haut risque et à haut rendement et permettait la collaboration entre le centre de recherche et des partenaires.

Toutefois, certains membres du personnel du CNRC ont indiqué que son personnel consacrait davantage de temps sur les projets du CQ, ce qui laissait moins de temps pour les projets générateurs de revenus (qui contribuent au budget de TSR).

Le budget de TSR comprend généralement un montant à recevoir par l'entremise des revenus. Si TSR n'atteint pas son objectif de revenus, il est tenu de chercher des fonds supplémentaires ou de réduire ses dépenses pour équilibrer son budget.

Durant l'exercice 2022-2023, pour soutenir l'avancement des connaissances, TSR a stratégiquement obtenu du financement du MDN/RDDC pour créer un partenariat dans le domaine des technologies quantiques, et a demandé des contributions en matière de co-investissement ou en nature d'autres collaborateurs. On s'attend à ce que le financement du MDN/RDDC se poursuive jusqu'à la fin de l'exercice 2025-2026.



Bien que les considérations relatives à l'**ACS Plus** soient intégrées au processus de sélection des projets des CQ, en raison des premières étapes des projets du programme, il reste à voir comment les projets pourraient faire progresser les résultats pour des groupes particuliers.

Facteurs qui ont contribué à l'avancement des connaissances scientifiques :

- les chercheurs de haute qualité de TSR
- la mobilisation et la capacité d'établir des liens entre le milieu universitaire, le gouvernement et l'industrie
- une approche de gestion qui offre de la souplesse aux chercheurs et des investissements à long terme dans la science
- l'accès à des installations de pointe

Facteurs qui ont nui à l'avancement des connaissances scientifiques :

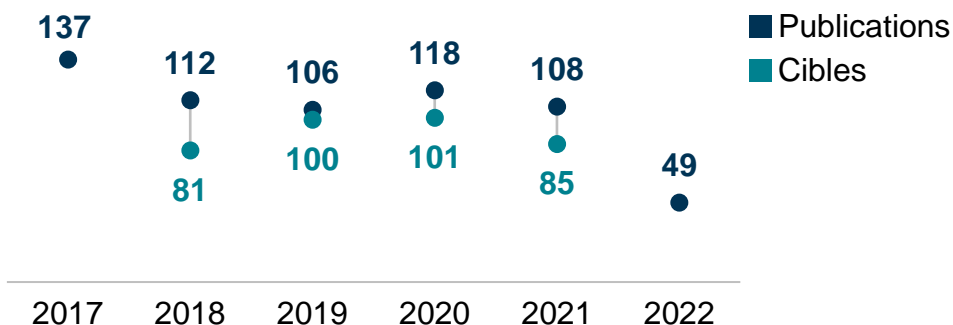
- la nécessité pour TSR de générer des revenus tout en mettant l'accent sur l'excellence scientifique et les projets d'appui aux défis et aux supergrappes
- l'augmentation de la paperasserie relativement aux demandes de financement du CNRC pour les étudiants et les collaborateurs industriels
- les exigences du CNRC en matière de rapports pour les clients et les collaborateurs externes
- un retard de 2 ans dans l'installation de la grappe de calcul haute performance du CNRC au sein de TSR



Faire progresser les connaissances : publications

TSR a produit un total de 630 publications au cours de la période d'évaluation, dépassant ses objectifs et publiant souvent dans des revues prestigieuses.

Figure 4. Entre 2017 et 2021 (années civiles), les publications de TSR ont diminué, mais elles ont constamment dépassé leurs objectifs



Remarque : Aucune cible n'était disponible pour 2017. Pour 2022, seul un nombre partiel de publications était disponible au moment de l'analyse. La cible de publication pour TSR a été abaissée en 2021 en raison des effets de la COVID-19.

TSR indique que la diminution du nombre de publications, au cours de la période d'évaluation, est attribuable aux départs à la retraite de chercheurs, aux effets de la pandémie et aux efforts de génération de revenus.



La **COVID-19** a contribué à la baisse du nombre de publications, car les travaux expérimentaux ont ralenti, les données d'avant la pandémie ont été utilisées dans les publications précédentes et le nombre d'étudiants a fluctué. Parmi les autres répercussions, mentionnons les retards dans les projets (en raison de l'accès limité aux laboratoires) et les retards dans l'approvisionnement et l'embauche.



Faire progresser les connaissances : publications

TSR a publié dans des revues prestigieuses

- 20 % des publications du centre de recherche ont figuré dans des revues du Nature Index, bien au-dessus du chiffre de 8 % du CNRC
- TSR a publié le plus souvent dans la revue Physical Review A (5 % du total des publications, 31 articles au total)
- les publications dans Nature Photonics (n = 7) et Science (n = 5) ont été fortement citées (nombre moyen de citations 24,1 et 56,8 respectivement)

Une grande partie des publications canadiennes ont été produites dans 2 domaines notables :

- 39 % dans le domaine de la science de l'attoseconde (science et technologie quantiques)
- 59 % dans le domaine des nanotubes de nitrure de bore (science des matériaux de pointe)

Le suivi du nombre de nouveaux brevets délivrés citant des publications du CNRC permet de déterminer dans quelle mesure la recherche du CNRC est liée à l'innovation en entreprise potentielle et aux répercussions économiques. Les **publications de TSR sont citées dans les brevets à un taux plus élevé** (pour 1 000 publications) que celui du CNRC (30,2 par rapport à 25,8).



Faire progresser les connaissances : citations

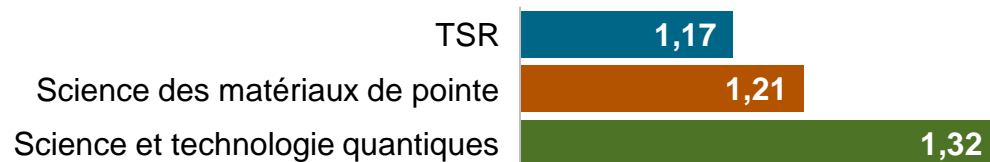
Le facteur d'impact pondéré par discipline (FIPD) de TSR a été positif, mais était inférieur aux moyennes du CNRC et du Canada.

Figure 5. Le FIPD de TSR a été positif pour les années civiles 2017-2022, mais était inférieur aux moyennes du CNRC et du Canada



Le **FIPD** est une mesure de citation normalisée qui indique comment le nombre de citations reçues par les publications d'un centre de recherche se compare au nombre moyen de citations reçues par toutes les autres publications similaires. Un FIPD de 1,00 signifie que la publication fonctionne exactement comme prévu par rapport à la moyenne mondiale; un FIPD supérieur à 1,00 signifie que la publication est plus citée que prévu selon la moyenne mondiale.

Figure 6. La science des matériaux de pointe et la science et la technologie quantiques de TSR sont au-dessus de l'ensemble du FIPD de TSR



Les FIPD³ distincts étaient fondés sur la catégorisation manuelle des publications de TSR. L'indice global FIPD de TSR (à 1,17) est inférieur au FIPD pour la science des matériaux de pointe (à 1,21) et le FIPD de la science et des technologies quantiques (à 1,32).

Le nombre de publications qui fait l'objet de la présente analyse était d'environ la moitié (303) du total des publications du centre de recherche (630). Cela signifie que seule la moitié des publications de TSR pourraient être classées manuellement dans ses 2 principaux domaines de recherche, car il n'y a pas de classification des sujets suffisamment précise pour classer automatiquement les publications.

³ Le FIPD pour les matériaux de pointe a été calculé par rapport à un très faible nombre de publications (n = 62) et doit être considéré avec prudence. Ce résultat peut être dû au fait que les matériaux de pointe de TSR mettent davantage l'accent sur le brevetage et moins sur l'édition.

Il est à noter qu'au cours de la période d'évaluation, TSR a produit 20 publications et présentations à des conférences qui n'ont pas été incluses dans le FIPD, car elles ne comptent pas comme des publications dans Scopus.



Propriété intellectuelle

La participation aux travaux de TSR a mené à de nouvelles découvertes et innovations pour les clients et les collaborateurs. De plus, les demandes de brevet de TSR ont considérablement augmenté au cours de la période d'évaluation, dépassant son objectif.

Les demandes de brevet ont dépassé l'objectif

Les clients et les collaborateurs ont indiqué que la participation aux travaux de TSR a entraîné une augmentation de la recherche et du développement au sein de leur organisation et a donné lieu à un développement technologique de pointe ou accéléré.

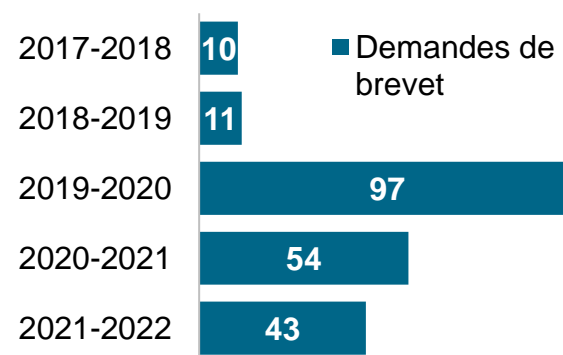
Le nombre de demandes de brevet déposées par TSR, au cours de la période d'évaluation de 5 ans, était de 215, dépassant de loin l'objectif annuel du plan stratégique de 2019-2024 de TSR de 10 à 14. Le grand nombre de demandes de brevet durant l'exercice 2019-2020 découle du fait que des demandes de brevet uniques ont été déposées dans plusieurs territoires du monde.

Le CEP a fait remarquer que TSR manque de directives en ce qui concerne ses brevets et a estimé que l'accent mis sur la génération de revenus pourrait être un obstacle à l'investissement stratégique et à la recherche à haut risque et à rendement élevé, en particulier dans le domaine des matériaux de pointe.

Parmi les exemples de licences ou de copropriétés dans le domaine de la science des matériaux de pointe, mentionnons :

- les brevets de la MINK pour l'impression de lignes fines et l'électronique de moules
- une licence non exclusive (2,75 M\$) pour l'accès à un bloc de construction conjugué (avec un grand immeuble multinational)
- brevets pour la technologie de fibres optiques à réseau de Bragg
- synthèse des NTN par l'intermédiaire d'un réacteur à plasma

Figure 7. Les demandes de brevet de TSR⁴ ont augmenté considérablement en 2019-2020



⁴ Par « demandes de brevet », on entend le volume et la portée géographique des activités de brevetage du CNRC. Il s'agit de la somme des demandes de brevet déposées auprès de l'Office de la propriété intellectuelle du Canada, de divers offices nationaux de propriété intellectuelle étrangers et en vertu du Traité de coopération en matière de brevets, ainsi que de toutes les demandes provisoires déposées auprès de l'Office des brevets et des marques de commerce des États-Unis.



Répercussions socioéconomiques

Le Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture (TSR) a élargi ses liens avec l'industrie et a fait monter les produits sur l'échelle de niveau de maturité technologique (NMT) pour les commercialiser. Ces efforts ont eu des répercussions en cascade sur les entreprises, car celles-ci ont été en mesure d'embaucher de nouveaux employés et d'augmenter leurs revenus; mais l'ampleur de ces répercussions n'était pas quantifiable.

TSR a apporté une contribution importante à l'élaboration de la Stratégie quantique nationale (SQN) et a appuyé les priorités du gouvernement, principalement par l'intermédiaire des programmes Défi. Au-delà de cela, les répercussions de TSR sur les priorités politiques du gouvernement ne sont pas bien quantifiées. Les liens avec les thèmes centraux du gouvernement du Canada, comme le développement durable (p. ex., l'économie verte et le passage à la carboneutralité) et la mobilisation des Autochtones ne sont pas évidents dans le travail de TSR.

Contribuer à l'innovation en entreprise

Depuis la dernière évaluation, TSR a fait des progrès dans l'établissement de liens avec l'industrie. Pour les matériaux de pointe, plus précisément, le brevetage et le transfert de technologies ont été au centre des préoccupations afin d'aider les entreprises à commercialiser dans des domaines innovants. Travailler avec TSR a permis aux clients de l'industrie d'embaucher du nouveau personnel, d'attirer des talents, d'augmenter leurs revenus et de développer des procédés évolutifs.

Comparativement à l'évaluation précédente, les liens avec les partenaires de l'industrie se sont élargis au cours de la présente évaluation. Toutefois, le nombre de projets a diminué en partie en raison de projets plus importants comportant de multiples clients.



Les intervenants interrogés clés croient que TSR a grandement contribué aux capacités d'innovation au sein de l'industrie canadienne

Le rapport annuel 2021 de la CCCR a noté que le CNRC a un rôle important à jouer dans le développement des talents et la création d'emplois. TSR a fait progresser ces objectifs pour ses clients qui ont déclaré que leur travail avec le centre de recherche leur a permis d'embaucher de nouveaux employés, d'attirer des talents et d'augmenter leurs revenus. Ces effets, cependant, n'ont pas pu être quantifiés.

L'accès à des installations pour la recherche à faible NMT a permis aux clients d'élaborer des projets et d'améliorer des technologies et des procédés.



Contribuer à l'innovation en entreprise

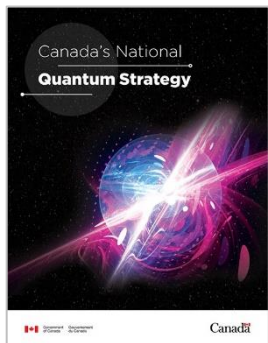
Les résultats du projet comprennent l'innovation en entreprise, le développement de la propriété intellectuelle, la commercialisation des produits et les nouvelles embauches

Les travaux sur la synthèse des nanotubes de carbone simple paroi (SWCNT) par l'entremise d'un réacteur à plasma et la purification des SWCNT ont abouti à des produits commerciaux. Dans le domaine de la commercialisation des nanotubes de nitrure de bore (NTNB), une nouvelle PI a été mise au point en lien avec un procédé de purification évolutif. Le partenaire de l'industrie a embauché de nouveaux talents, a établi une réputation internationale et a développé plusieurs produits de NTNB pour commercialisation. Le CEP a indiqué que TSR établit certaines mégatendances avec ses travaux sur les NTNB.



Contribuer aux solutions stratégiques du gouvernement

TSR a contribué de manière importante à l'élaboration de la SQN et à la mise en œuvre du CQ correspondants.



Source: [Canada's National Quantum Strategy](#)

TSR a fourni au gouvernement des solutions stratégiques fondées sur la science

Le Comité d'examen par les pairs (CEP) a indiqué que TSR a contribué de manière importante à la SQN canadienne et à l'élaboration du CQ. Il a estimé que TSR a construit un écosystème national en quantique, qui harmonise les stratégies nationales et internationales de manière efficace.

L'équipe de direction de TSR a travaillé avec Innovation, Sciences et Développement économique Canada tout au long de l'élaboration de la SQN (publiée en janvier 2023), qui comprenait également la participation du milieu universitaire, de l'industrie, d'organismes à but non lucratif, d'autres ministères et de représentants provinciaux et internationaux.

La direction de la SQN a assisté aux réunions, a fourni des commentaires et des conseils sur la stratégie, a aidé à mettre au point le texte sur les piliers de la stratégie (recherche, talent et commercialisation) et a recensé les domaines dans lesquels d'autres investissements peuvent être faits. La SQN comprenait un financement complémentaire pour le CQ et un nouveau financement pour le programme Défi « Informatique quantique appliquée ».

Le directeur général de TSR est coprésident du Comité interministériel de coordination quantique des DG et responsable de la Stratégie quantique du CNRC, qui deviendra un pilier du prochain plan stratégique quinquennal du CNRC (2024-2029). Le DG de TSR assiste également aux réunions interministérielles du Comité de coordination quantique des sous-ministres adjoints afin d'appuyer la mise en œuvre de la SQN.

Afin de renforcer le rôle de chef de file du Canada, le gouvernement fédéral a annoncé qu'il versait 360 M\$ en 2021 pour la SQN, qui comprenait près de 25 M\$ pour l'**élargissement du CQ**. La SQN vise à :

- faire du Canada un chef de file dans le développement, le déploiement et l'utilisation continue du matériel et des logiciels d'informatique quantique
- assurer la protection de la vie privée et la cybersécurité des Canadiens dans un monde quantique
- permettre au gouvernement du Canada et aux industries clés d'être des concepteurs de nouvelles technologies de détection quantique et les premières à les adopter



Contribuer aux solutions stratégiques du gouvernement

TSR a appuyé les priorités du gouvernement, contribué à des solutions stratégiques fondées sur la science et a le potentiel de contribuer aux initiatives stratégiques futures; toutefois, ces contributions n'ont pas été bien quantifiées. Les thèmes centraux du gouvernement du Canada, comme le développement durable et la mobilisation des Autochtones, ne sont pas évidents dans les travaux de TSR.

Soutient plusieurs priorités gouvernementales et a le potentiel de contribuer à l'orientation future des politiques gouvernementales

L'équipe des matériaux de pointe a appuyé plusieurs priorités gouvernementales par l'entremise des programmes Défi, comme Vieillir chez soi et Intelligence artificielle au service de la conception. 2 projets de matériaux de pointe se sont démarqués par leur potentiel de contribution aux politiques :

- Dans le cadre du projet des SWCNT, le matériel qui en a résulté a été utilisé pour le programme Défi « Vieillir chez soi » du CNRC.
- Un projet avec Ressources naturelles Canada sur les capteurs de pipeline a donné lieu au dépôt d'une demande de brevet et pourrait fournir une innovation stratégique future grâce à la réglementation dans le secteur pétrolier et gazier. Ce projet a le potentiel de soutenir un réseau de distribution de pétrole durable sur le plan environnemental grâce à un système fiable de détection des fuites.



Source: [Aging in Place Challenge program - National Research Council Canada](#)

Contribuer aux solutions stratégiques du gouvernement

Les revenus des autres ministères représentaient environ 77 % du total de TSR, de l'exercice 2017-2018 à l'exercice 2022-2023, et environ la moitié des autres clients interrogés ont indiqué qu'en raison de la participation de TSR, il y a eu une incidence importante sur les capacités d'innovation au sein des organisations gouvernementales canadiennes.

En l'absence d'indicateurs de rendement importants sur les répercussions liées aux solutions politiques gouvernementales, il était difficile de quantifier la pleine contribution de TSR au paysage politique.

Le CEP a noté que les thèmes centraux du gouvernement du Canada, comme le développement durable et la mobilisation des Autochtones, étaient absents. Le CEP s'attendait à voir une plus grande connectivité avec ces priorités et a estimé qu'il s'agissait d'un domaine où TSR pourrait s'améliorer.

Le **programme Défi « Vieillir chez soi »** vise à aider les Canadiens âgés à souhaiter vieillir chez eux et dans leur collectivité au moyen de la technologie et de l'innovation.



Axe de recherche

Une vision globale mise à jour est requise pour le centre de recherche (conformément à l'exercice de planification stratégique 2024-2029 qui était en cours pendant l'évaluation). Cette vision aiderait à établir l'ordre de priorité des domaines de recherche, à fournir une orientation future et à définir le rôle de TSR au sein de l'écosystème canadien.

Dans le domaine de la science et des technologies quantiques, l'orientation stratégique de la recherche de TSR s'est harmonisée stratégiquement avec la SQN, a répondu aux besoins des clients actuels et suivait certaines prévisions du marché. La recherche sur les matériaux de pointe de TSR a également été conforme à certaines tendances du marché; toutefois, ses activités ont soutenu les besoins des clients et d'autres programmes Défi ayant une orientation stratégique globale moindre.

TSR est en mesure d'aller de l'avant dans ses créneaux, en remplissant un rôle complémentaire, en comblant les lacunes et en agissant comme un connecteur pour d'autres organisations.

Alignement stratégique

Une vision globale mise à jour pour le centre de recherche est nécessaire (conformément à l'exercice de planification stratégique 2024-2029 qui était en cours pendant l'évaluation). À l'exception de l'harmonisation avec la SQN, les processus de sélection parmi les tendances et d'établissement des priorités n'étaient pas clairs.

Bien que le centre de recherche se soit doté d'une vision et d'une mission qui figurent dans le plan stratégique 2019-2024, le CEP croyait qu'une vision globale était nécessaire pour TSR, car il ne voyait pas comment le processus de sélection des domaines prioritaires était organisé et établi. Il est à noter que l'exercice de planification stratégique 2024-2029 du CNRC était en cours au moment de l'évaluation.

Dans le domaine de la science et des technologies quantiques, l'orientation de la recherche de TSR était conforme sur le plan stratégique à la SQN. Le CEP a noté l'absence d'une stratégie nationale comparable en matière de matériaux de pointe et a estimé que cela contribuait à un manque d'orientation et de cohérence dans ce domaine. En ce qui concerne les matériaux de pointe, les activités répondaient aux besoins des clients actuels et d'autres programmes Défi, en mettant moins l'accent sur une orientation stratégique globale, principalement en raison des attentes en matière de revenus et de la nécessité de soutenir les autres ministères.



Alignement stratégique

Domaines de recherche de TSR

Science et technologie quantiques

- **Photonique quantique** : interactions lumière-matière quantique; spectroscopie ultrarapide; comparaison d'horloge de précision; sources/détecteurs à photon unique/peu de photons
- **Électronique quantique** : conversion photon-spin; systèmes 2D alternatifs; électronique à l'échelle atomique; points et fils quantiques
- **Détection quantique** : peignes de fréquence; capteur axé sur la photonique; lasers dans le moyen infrarouge et imagerie infrarouge; dispositifs nano-optomécaniques
- **Information quantique** : génération d'ondes millimétriques; sources uniques de photon; réduction du facteur de forme pour le centre de données; conception au service des médicaments, la photonique et les matériaux

Matériaux de pointe

- **Nanocomposites** : composites structuraux à base de polymères, adhésifs; composites conducteurs à base de polymères; céramiques
- **Matériaux additifs** : encres moléculaires, thermoformage — électronique dans le moule; matériaux imprimables 3D autoassemblés; impression volumétrique — photopolymères; électronique imprimée R2R
- **Nanomatériaux** : SWCNT de qualité électronique; synthèse plasmatique de nanomatériaux à l'échelle pilote (NTNB, NTC, alliages à haute entropie); capteurs de synthèse de points quantiques colloïdaux : capteurs intégrés — composites; imprimés près des capteurs à infrarouge et de gaz (NTC/QD); antennes imprimées — surfaces sélectives en fréquence



Harmonisation avec les besoins des utilisateurs

L'axe de recherche de TSR a été harmonisé avec les besoins des clients et des collaborateurs (universités, entreprises et autres ministères) et avec les domaines où il existe un potentiel d'innovation. TSR est en mesure de suivre l'évolution rapide du secteur dans ses créneaux respectifs.

La recherche répond aux besoins actuels des clients

Les universitaires ont indiqué que TSR avait des intérêts et des priorités de recherche semblables aux leurs. Les clients de l'industrie ont indiqué que l'orientation de la recherche de TSR correspondait bien à leurs besoins et les autres clients ont indiqué que l'orientation de la recherche de TSR complétait la leur.

En mesure d'aller de l'avant dans ses créneaux

Les clients et les collaborateurs ont indiqué que la science et la technologie quantiques de TSR sont bien placées pour suivre le rythme de l'évolution rapide de l'écosystème dans ses créneaux malgré sa taille plus petite par rapport à d'autres instituts de recherche internationaux, tels que le JILA (Colorado, États-Unis).

En ce qui concerne les matériaux de pointe, les clients et les collaborateurs ont fait remarquer que TSR dispose des chercheurs et de l'accès aux installations nécessaires pour maintenir sa position par rapport aux autres laboratoires gouvernementaux (p. ex., les États-Unis et le Japon). Toutefois, le CEP a indiqué que l'état des installations de matériaux de pointe pourrait nuire à la capacité de TSR d'attirer et de retenir le PHQ.



Harmonisation avec les besoins des utilisateurs

Harmonisé certaines recherches avec le potentiel d'innovation

Certains projets de TSR ont été réalisés dans des domaines qui devraient connaître une croissance considérable dans le futur, notamment :

- Amélioration de la vitesse des ordinateurs pour résoudre des problèmes complexes, notamment :
 - une collaboration avec un partenaire de l'industrie en informatique quantique pour déterminer quand l'informatique réussira à décoder la cryptographie moderne;
 - aider le Centre de la sécurité des télécommunications à comprendre les exigences en matière d'informatique quantique qui pourraient menacer la cryptographie moderne;
 - entreprendre la purification de nanotubes pour de nouvelles micropuces dans les ordinateurs;
- Amélioration de la sécurité et des communications rapides des données [p. ex., projet Lien de distribution quantique des clés à haute dimension (DQC)].
- Détection, surveillance et administration de médicaments :
 - collaboration avec un partenaire de l'industrie dans la purification de nanotubes pour capteurs biomédicaux;
 - collaboration avec un autre partenaire de l'industrie sur la MINK pour une interface de machine humaine dans le moule

TSR s'est concentré sur ses créneaux et n'a pas poursuivi d'autres domaines (p. ex., la recherche gravimétrique) où il existe un potentiel d'innovation, car il ne disposait pas d'une expertise interne.



Harmonisation avec les tendances du marché

La SQN et le CQ qui y est associé ont pris en compte les tendances globales de la technologie quantique, où la croissance du marché devrait s'étendre considérablement à l'échelle nationale et mondiale au moins jusqu'en 2045. L'accent mis sur la recherche quantique et à faible NMT de TSR a été harmonisé avec les tendances du marché et les principales nations œuvrant dans le domaine de la technologie quantique. La concentration de TSR sur les nanotubes de carbone et l'électronique imprimée a été harmonisée avec les tendances du marché.

Activités quantiques harmonisées avec les tendances du marché

On s'attend à ce que la technologie quantique se développe considérablement à l'avenir. Jusqu'en 2024, les applications militaires et automobiles devraient dominer le marché quantique, qui devrait rester stable, tandis que les applications agricoles devraient croître le plus rapidement. À l'exception des applications agricoles, TSR se concentre sur bon nombre de ces technologies quantiques.

La course mondiale à la conversion de la science quantique en technologie quantique s'étend à divers secteurs tels que la santé, la défense, et l'environnement. Au Canada, la SQN soutient l'ensemble du continuum de l'innovation, de la recherche fondamentale et la mise à l'échelle jusqu'à l'adoption, afin de faire progresser la commercialisation. La programmation quantique actuelle et prévue de TSR tire parti de certaines de ces occasions. Plus précisément, le CEP a perçu positivement les travaux sur les points quantiques définis par des portes dans les semi-conducteurs. Il a signalé que les aspirations particulières à la transduction nécessitent un engagement plus large compte tenu de son importance pour le traitement de l'information quantique.

TSR se concentre sur la recherche à faible NMT en fonction de la nature émergente du domaine quantique. Les collaborations entre universitaires, avec une participation moindre de l'industrie, peuvent limiter la pénétration sur le marché.



Harmonisation avec les tendances du marché

Les recherches sur les nanotubes de carbone s'harmonisent avec l'un des matériaux à la croissance la plus rapide

Il y a une demande croissante de matériaux composites légers et durables d'un point de vue écologique dans divers secteurs. TSR est impliqué dans le travail avec le matériau unique à la croissance la plus rapide (nanotube de carbone, avec un taux de croissance annuel composé prévu de 21,5 %). TSR n'est pas impliqué dans d'autres domaines de matériaux de pointe en expansion (p. ex., graphène, batteries aux ions de lithium). L'adoption généralisée des nanotubes de carbone se fera à un rythme lent. Le coût élevé, le manque de procédés de fabrication évolutifs et les améliorations rapides des circuits intégrés à base de silicium ont empêché cette adoption. TSR est également impliqué dans les nanocomposites, où de nouveaux matériaux tels que les composites polymères renforcés de carbone sont promis à une croissance rapide.

L'électronique imprimée et les encres conductrices gagnent en popularité

En 2020, les encres conductrices à base d'argent ont représenté la plus grande part du marché mondial. L'Asie-Pacifique a dominé ce marché. TSR a collaboré avec le Japon et la Corée du Sud dans ce domaine.



Rôle complémentaire

Les créneaux de recherche de TSR ont complété les applications de recherche et de technologie d'autres organisations. Le CCPE a donné à TSR l'occasion de contribuer à des projets de recherche conjoints en sciences quantiques.

TSR s'est spécialisé dans certains créneaux et a comblé des lacunes pour d'autres organisations

La plupart des intervenants interrogés clés ont indiqué qu'il existe de nombreuses organisations qui mènent des recherches en sciences et technologies quantiques, mais que TSR s'est spécialisé dans de petits créneaux et a comblé des lacunes pour d'autres organisations. TSR était considéré comme le centre d'expertise fédéral dans le domaine quantique et souvent approché par les autres ministères pour ses connaissances quantiques, ses installations et son travail collaboratif complémentaire.

En ce qui concerne la science des matériaux de pointe, l'objectif de recherche de TSR était unique, ce qui était attrayant pour les collaborateurs. Les autres ministères et les partenaires de l'industrie ont souvent développé les découvertes faites par TSR, car elles étaient complémentaires à leurs domaines de recherche et à leurs applications.

Les partenaires de l'industrie ont indiqué qu'il n'y avait aucune autre organisation au Canada qui avait un objectif de recherche semblable à celui de TSR. Cela a comblé une lacune critique, ce qui a mené à des améliorations dans leurs recherches. Le rapport 2019 de la Commission consultative des centres de recherche (CCCR) a noté que les réalisations de TSR étaient uniques.

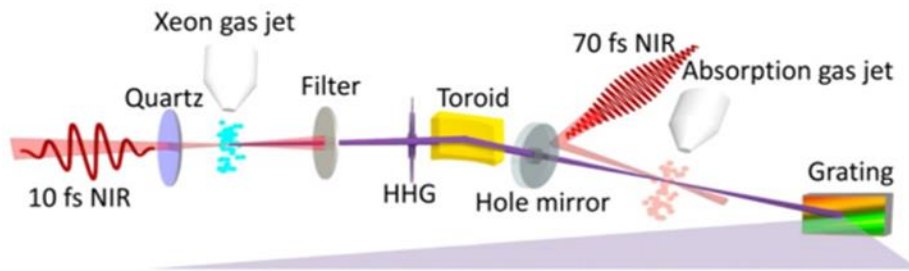


Rôle complémentaire

Le CCPE a fait la promotion de la collaboration en science quantique

En participant au Centre conjoint de photonique extrême CNRC-Université d'Ottawa (CCPE), le CNRC a contribué à l'avancement de la science quantique en appuyant des projets de recherche conjoints avec des codirigeants de TSR et de l'Université d'Ottawa.

De plus, le CNRC a donné accès aux installations, a fourni un soutien aux chercheurs du CNRC, au personnel de l'Université d'Ottawa, aux scientifiques invités, aux boursiers de recherches postdoctorales et aux étudiants ainsi que le financement de fonctionnement; et le développement des entreprises en ce qui concerne la propriété intellectuelle et la concession de licences.



Projet CCPE de André Staudte, Ph. D. (CNRC) et Albert Stolow, Ph. D. (Université d'Ottawa) : Utilisation de techniques d'absorption transitoire d'attoseconde et d'imagerie photoélectronique 3D pour étudier la structure moléculaire et la dynamique dans la région des électrons de valence, et utiliser des électrons au niveau du cœur pour sonder la dynamique.

Source : [Projets CCPE \(extremephotonics.com\)](http://extremephotonics.com)

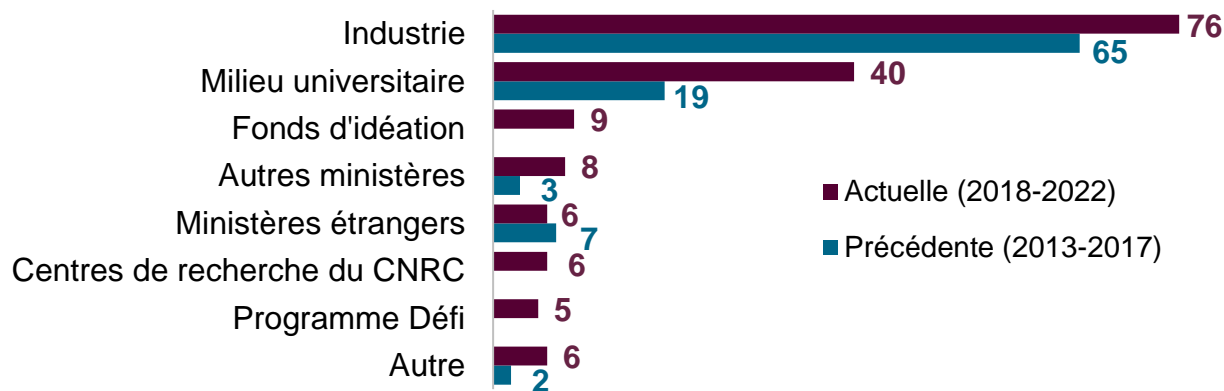
Mobilisation

Le Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture (TSR) a considérablement augmenté le nombre de clients et de collaborateurs depuis la dernière évaluation, en partie grâce au lancement du programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » (CQ). Le centre de recherche a noué de nombreux contacts avec le milieu universitaire, l'industrie et les clients et collaborateurs d'autres ministères de nombreuses façons, et sa réputation et son expertise sont attrayantes pour eux. Bien que la mobilisation soit efficace dans une certaine mesure, TSR n'a pas de stratégie de mobilisation bien articulée et pourrait améliorer son éventail de clients et de collaborateurs. Le CQ est l'exception à cette règle et a fait de TSR un intégrateur et un acteur quantique majeurs au Canada.

Mobilisation des clients et des collaborateurs

Depuis l'évaluation précédente, TSR a considérablement augmenté le nombre de ses clients et collaborateurs. Le lancement de nouveaux programmes comme le CQ a contribué à cette augmentation. Près de la moitié des projets de TSR et près des 3 quarts des revenus des projets provenaient d'autres ministères, dont une grande partie provenait du MDN/RDDC.

Figure 8. Il y a eu une forte augmentation du nombre de clients et de collaborateurs⁵ par rapport à l'évaluation précédente (passant de 96 à 156)



⁵ Comprend les collaborateurs du programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » (CQ).

TSR mobilise fortement les autres ministères

TSR a participé à 151 projets avec des clients et des collaborateurs externes :

- 43 % avec d'autres ministères
- 25 % avec l'industrie
- 27 % avec le milieu universitaire
- 5 % avec d'autres ou plusieurs clients et collaborateurs

Les revenus des projets sont demeurés relativement stables, atteignant une moyenne de 3,4 M\$ par année.



Mobilisation des clients et des collaborateurs

À partir de 2017-2022, les autres ministères ont représenté une grande partie (72 %) des revenus des projets de TSR⁶ (en millions)

Client de TSR	De 2017-2018 à 2021-2022
Autres ministères	12,2 M\$
Industrie	4,3 M\$
Milieu universitaire	0,5 M\$
Total	17,0 M\$

⁶ Il n'y avait pas de revenus attendus ou gagnés des projets de CQ.

Le MDN/RDDC demeurent des partenaires clés

Le MDN/RDDC ont représenté 51 % des revenus totaux de projet, comparativement à 53 % lors de l'évaluation précédente. En ce qui concerne les fonds obtenus par effet de levier (non comptabilisés dans les revenus), TSR a reçu 5,8 M\$ du MDN/RDDC.

Le pourcentage et le nombre de projets menés en collaboration avec le MDN/RDDC (31 %, 47 projets) ont augmenté considérablement depuis l'évaluation précédente (15 %, 29 projets).

Il est à noter que l'évaluation précédente recommandait que TSR élargisse sa clientèle au-delà du MDN/RDDC.

Mobilisation stratégique et efficace

TSR a mobilisé des clients et des collaborateurs de nombreuses façons, et sa réputation et son expertise sont attrayantes pour eux. TSR a servi de lien entre l'industrie et le milieu universitaire, et des partenariats solides ont souvent mené à d'autres collaborations.

TSR a mobilisé des clients et des collaborateurs, notamment :

- activités de sensibilisation au développement des entreprises
- campagnes de marketing
- personnes-ressources responsables de vente directe
- participation des chercheurs et des équipes de développement des affaires aux discussions
- prestation d'ateliers pour attirer de nouveaux clients et collaborateurs
- mise à profit des relations existantes
- réponse aux demandes de renseignements de l'extérieur du CNRC



Les **considérations relatives à l'ACS Plus** commencent à être intégrées aux processus de mobilisation des clients et des collaborateurs. Cela n'est ni uniforme ni officialisée. Les considérations relatives à l'ACS Plus sont incluses dans le processus de demande de subvention du CQ dans les cas où au moins 50 % des équipes de recherche doivent être composées de groupes sous-représentés. À l'heure actuelle, il n'y a pas de processus officiel d'évaluation de l'ACS Plus avec d'autres clients et collaborateurs de TSR.



Mobilisation stratégique et efficace

Les clients et les collaborateurs sont satisfaits

Les clients et les collaborateurs de TSR ont indiqué que la réputation du CNRC et l'excellence des chercheurs de TSR encourageaient l'engagement. Le TSR est bien relié au milieu universitaire et à l'industrie, possède une expertise et des installations pertinentes et est axé sur la recherche qui répond à ses besoins. Il était relativement plus facile de collaborer avec TSR (une fois que les ententes étaient en place) que de travailler avec le milieu universitaire ou des organisations étrangères.

La plupart des clients et des collaborateurs ont fait état de partenariats solides avec TSR, certains indiquant que le travail initial a conduit à une collaboration plus poussée. D'autres ont souligné que le centre de recherche servait de lien entre l'industrie et le milieu universitaire. La plupart étaient satisfaits de leur collaboration et étaient susceptibles de travailler avec le TSR à l'avenir.

Le personnel du CNRC dans d'autres centres de recherche a indiqué que TSR a bien collaboré; toutefois, le CEP a noté l'absence d'un lien fonctionnel solide avec le Centre de recherche en métrologie du CNRC, qu'il considérait comme essentiel.

Pour améliorer la collaboration, certains ont indiqué que TSR devrait avoir plus d'interaction (p. ex., réunions régulières, rédaction conjointe de propositions) et qu'il devrait améliorer la sensibilisation à ses services et la communication avec eux. En ce qui concerne les obstacles, la bureaucratie et les règles du CNRC (p. ex., pratiques d'embauche, processus non optimisés), les contraintes en matière de PI et l'accent mis par le TSR sur les projets à faible NMT (pour les partenaires de l'industrie) constituaient des obstacles à la collaboration.



Mobilisation stratégique et efficace

Le TSR n'a pas de stratégie de mobilisation bien articulée. Toutefois, la stratégie de mobilisation réussie du CQ a fait de TSR un acteur majeur au Canada dans le domaine quantique. Il n'existe pas d'approche similaire pour les matériaux de pointe, ce qui pourrait indiquer où le TSR devrait intervenir. La composition des intervenants de TSR pourrait être améliorée.

TSR n'avait pas de stratégie de mobilisation — le CQ est l'exception

Bien qu'il y ait mené un certain nombre d'activités de mobilisation fructueuses, TSR ne dispose pas de stratégie de mobilisation bien articulée. Le TSR dispose de peu d'information sur les cibles et n'a pas d'approche documentée en matière de mobilisation, ce qui rend difficile de déterminer l'atteinte des objectifs. Compte tenu des changements organisationnels à venir qui toucheront TSR, la planification de la mobilisation stratégique pourrait devenir plus complexe et plus importante.

Le CEP a indiqué que le CQ est l'exception à cette règle. Il existe une stratégie de mobilisation fructueuse qui a fait de TSR un acteur quantique majeur au Canada. Les accords de financement de subventions et de contributions du CQ, totalisant près de 12 M\$ (pour les exercices 2021-2022 et 2022-2023), ont favorisé la mobilisation. Comme l'a souligné le CEP, la participation de TSR à l'élaboration de la SQN a facilité l'intégration de tous les intervenants quantiques canadiens et a fait de TSR un acteur majeur de l'écosystème canadien.

Comme l'a fait remarquer le CEP, l'échelle nationale n'est pas présente pour les matériaux de pointe. Bien que les matériaux de pointe n'aient pas de stratégie de mobilisation articulée, cette équipe se mobilise à l'externe par l'intermédiaire d'autres programmes Défi (p. ex., Vieillir chez soi, Intelligence artificielle au service de la conception et Matériaux pour combustibles propres).



Mobilisation stratégique et efficace

La composition des clients et des collaborateurs de TSR pourrait être améliorée

L'évaluation précédente a révélé que TSR comptait beaucoup sur le MDN/RDDC et devait mobiliser davantage l'industrie. Le TSR continue de dépendre fortement du MDN/RDDC en ce qui concerne les projets et les revenus, mais a accru sa mobilisation de l'industrie.

Seulement environ la moitié des employés du CNRC interrogés ont indiqué que le TSR conserve un bon équilibre entre les groupes d'intervenants, soulignant que les relations internationales pourraient être améliorées. La CCCR a recommandé que le TSR élargisse ses relations avec des organisations internationales (p. ex., la Corée du Sud) à l'extérieur des principaux partenaires du CNRC. Ils ont également mentionné que le TSR devrait travailler plus pour mettre les PME en contact avec de plus grandes entreprises.

Le CEP a noté que la nécessité pour TSR de générer des revenus semble le tirer dans des directions opportunistes dictées par d'autres et peut-être délaissier les domaines où l'industrie majeure domine (p. ex., l'aérospatiale et l'automobile); toutefois, le TSR se mobilise à l'externe par l'intermédiaire d'autres programmes Défi et d'autres centres de recherche comme l'aérospatiale, l'automobile et le transport de surface et l'énergie, les mines et l'environnement. Le CEP a fait remarquer que, pour les matériaux de pointe, le TSR s'est fortement mobilisé auprès de PME précises, mais n'a pas suffisamment mobilisé les universités.



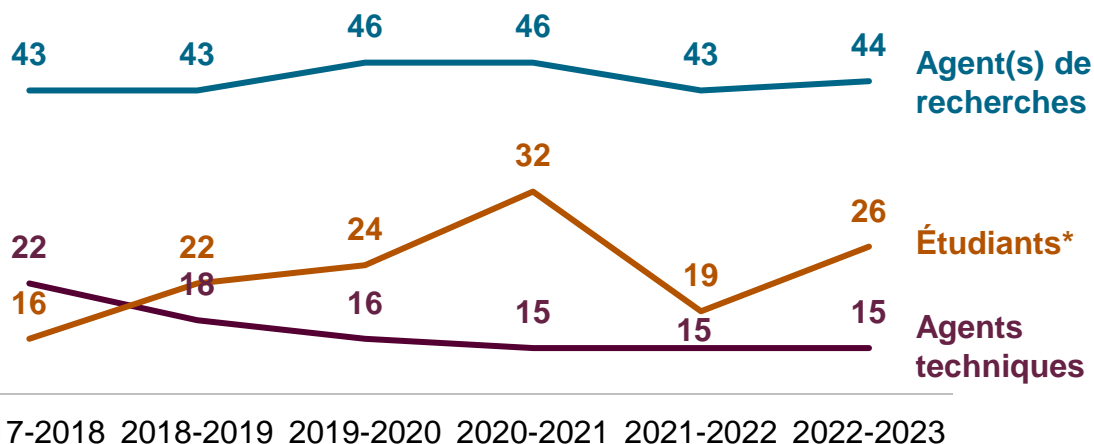
Capacités, compétences et installations

Le Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture (TSR) a la capacité financière et les compétences en ressources humaines nécessaires pour atteindre ses objectifs. En ce qui concerne les installations, TSR dispose d'excellentes installations quantiques. Pour pouvoir aller de l'avant, la planification des installations quantiques doit avoir lieu dès maintenant. À cette fin, l'acquisition d'équipement de photonique quantique fait partie de la première vague du projet de renouvellement des installations du CNRC. Les installations de matériaux de pointe ont besoin d'être considérablement améliorées, car l'état physique des laboratoires pourrait nuire au moral et à la capacité du centre de recherche d'attirer des personnel hautement qualifié (PHQ) et de les retenir.

Capacités

La capacité en matière de ressources humaines de TSR a varié au cours de la période d'évaluation pour les groupes autres que les agents de recherches (qui sont demeurés relativement stables). TSR semble être bien placé pour la planification de la relève.

Figure 9. À partir de l'exercice 2017-2023, le nombre d'agents de recherches est resté relativement stable, le nombre d'agents techniques a diminué et le nombre d'étudiants a varié

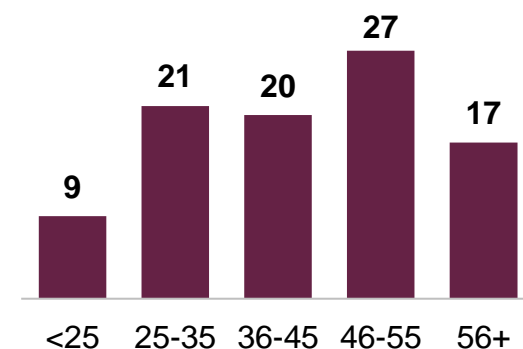


* Bien que TSR compte normalement au moins 20 étudiants, un financement supplémentaire, fourni par le gouvernement pendant la COVID-19, a permis d'embaucher un plus grand nombre d'étudiants.

La planification de la relève est importante pour TSR

La répartition du personnel âgé de 25 à 55 ans était relativement similaire, l'âge moyen de l'ensemble du personnel de TSR étant de 46 ans. Le CEP a noté que le profil d'âge du personnel semble attrayant, car il n'y a pas de baisse significative dans la fourchette de 30 à 50 ans.

Figure 10. En 2022, près de la moitié des employés de TSR (47 %) avaient plus de 45 ans

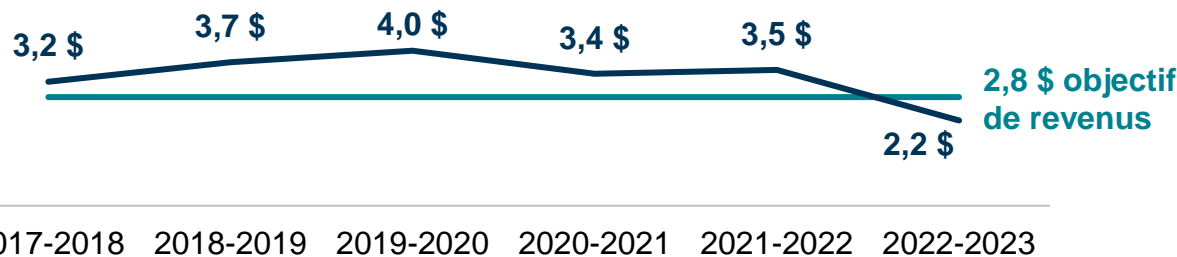


Capacités

Le centre de recherche a dépassé son objectif de revenus chaque année pendant 4 des 5 années de la période d'évaluation. La direction de TSR a été proactive en mobilisant des fonds supplémentaires (p. ex., par l'intermédiaire du CQ et de RDDC) afin que le budget augmente au cours de la période d'évaluation. TSR devrait recevoir des fonds supplémentaires jusqu'en 2027-2028 à partir de ces sources supplémentaires.

En moyenne, TSR a dépassé son objectif de revenus

Figure 11. À l'exception de l'exercice 2022-2023, TSR a constamment dépassé son objectif de revenus au cours de la période d'évaluation



TSR a noté que RDDC a annulé un projet de 300 000 \$ à la fin de 2022-2023, ce qui a contribué au manque à gagner.

TSR a tiré parti d'une capacité financière supplémentaire

TSR a reçu des crédits nets (budget) de l'ordre de 11,5 M\$ à 14,7 M\$ par an au cours de la période d'évaluation. La direction de TSR a également cherché à obtenir des fonds supplémentaires pour les exercices 2019-2020 à 2027-2028 :

- BNP-CQ (4 M\$)
- SQN (4,8 M\$)
- MDN/RDDC (5,8 M\$, partenariat en technologies quantiques)
- Petites équipes et Nouveaux débuts (près de 1,3 M\$)

Capacités

Optimisation des sources de financement jusqu'en 2027-2028

L'examen de l'interaction entre les crédits de TSR et les sources de financement supplémentaire révèle ce qui suit :

- En supposant que les crédits globaux du centre de recherche demeurent les mêmes, on prévoit que ces sources de financement supplémentaires contribueront de 9 % (de 1,7 à 1,9 M\$) au budget total chaque année, de 2022-2023 à 2024-2025. Cette situation pourrait continuer au moins jusqu'à l'exercice 2027-2028, à l'exception du financement du MDN/RDDC qui ne se poursuit que jusqu'à la fin de 2025-2026.

Le CEP a indiqué que l'absence d'une vision globale de TSR pourrait se traduire par un manque d'orientation sur les investissements à long terme dans les bâtiments, l'infrastructure et les personnes. Il est à noter que la planification stratégique était en cours au cours de l'évaluation et que le financement des grands projets d'immobilisations pour le CNRC est géré de façon centralisée par le Bureau de la gestion du renouvellement des installations.



Capacités

La participation de TSR au CQ a mis en évidence les défis liés au financement et à l'établissement des priorités.

Le personnel de TSR a du mal à équilibrer la participation aux projets traditionnels et aux nouveaux programmes Défi

Le personnel de TSR a eu du mal à participer de façon égale aux projets du CQ, car il estimait que TSR n'avait pas reçu suffisamment de fonds opérationnels pour y participer pleinement. Toutefois, en raison des changements apportés aux pratiques de codage des heures de travail du CNRC, il n'est pas possible de déterminer le temps consacré par les chercheurs aux projets du CQ.

Comme TSR a relevé de nouveaux défis, le CEP s'est inquiété du maintien du leadership scientifique si le personnel est débordé. Il a conseillé au centre de recherche de ne pas perdre de vue sa stratégie en recherchant des gains rapides (générateurs de revenus). À l'avenir, TSR devra établir l'ordre de priorité des programmes en fonction des ressources disponibles.

Certains membres du personnel de TSR se sont dits préoccupés par le partage de leur temps entre les projets générateurs de revenus et les projets non générateurs de revenus (tels que le CQ), se disant préoccupés à l'égard de la génération de revenus au détriment du leadership scientifique. Des fonds supplémentaires qui seront reçus de sources de financement supplémentaires pourraient atténuer certaines de ces préoccupations au cours des prochaines années.

TSR prend des mesures pour atténuer les défis opérationnels

Le plan opérationnel de TSR pour l'exercice 2022-2023 a recensé plusieurs risques pour la capacité du centre de recherche à atteindre ses objectifs et a cerné des mesures d'atténuation, notamment :

- Difficultés à atteindre les objectifs de revenus en raison de l'engagement excédentaire des chercheurs dans d'autres domaines, comme les programmes Défi, ou de l'évolution des priorités des partenaires financiers. Pour atténuer ces problèmes, le centre de recherche a examiné son processus de revenus et a déterminé son niveau de dotation de base pour atteindre les objectifs de revenus. De plus, il a tenu compte des répercussions financières lorsqu'il faut établir l'ordre de priorité des activités et augmente la prévisibilité des revenus grâce à des ententes de projet à plus long terme.
- Défis liés au maintien de la viabilité financière du centre de recherche en l'absence de financement du CQ. Pour atténuer les effets, TSR explorera d'autres voies et programmes de financement de l'équipement, de la main-d'œuvre et des opérations et diversifiera sa clientèle.



Compétences

TSR a les compétences nécessaires pour atteindre ses objectifs, ayant récemment embauché un certain nombre de chercheurs de haut niveau et attiré des boursiers de recherches postdoctorales. Le CEP a noté que les capacités des chercheurs en début de carrière étaient impressionnantes et que l'attrition a été gérée.

TSR possède actuellement les compétences dont il a besoin

Le personnel de TSR a signalé que TSR dispose de la prochaine génération de chefs de file scientifiques. Récemment, le centre de recherche a embauché un certain nombre de chercheurs de haut niveau et a eu la capacité d'attirer des boursiers de recherches postdoctorales comparables à ceux du milieu universitaire. Le financement du Bureau national des programmes (BNP) pour le CQ a permis une plus grande collaboration de la part du milieu universitaire en faisant appel à des boursiers de recherches postdoctorales et à des étudiants des cycles supérieurs, fournissant ainsi une masse critique supplémentaire dans la recherche.

TSR avait 15 professeurs auxiliaires. Le CEP a soutenu l'encouragement de TSR à octroyer des affiliations universitaires auxiliaires, car cela permet aux chercheurs de TSR de recruter des étudiants financés par des subventions du CRSNG.

Le CEP a été impressionné par les capacités des chercheurs en début de carrière de TSR et a noté que le centre de recherche a réussi à maintenir une capacité malgré l'attrition. Cependant, TSR fait face à une concurrence féroce face à d'autres organisations, ce qui rend difficile la rétention des chercheurs.



Compétences

TSR est proactif pour attirer et retenir les talents

Dans le Plan opérationnel 2022-2023, TSR a défini des stratégies de perfectionnement professionnel :

- rotation des chefs de groupe ou possibilités de gestion et de leadership par intérim
- utilisation du programme de mentorat du CNRC
- offrir des possibilités aux employés à fort potentiel
- encourager la participation à des comités, à des conférences et à des comités de rédaction

TSR tente de trouver un équilibre entre le recrutement et le fait que les centres de recherche du CNRC font l'objet d'un exercice de restriction budgétaire. Le CEP a salué l'accent mis par TSR sur l'acquisition d'associés de recherche postdoctorale à durée déterminée, un mécanisme bienvenu pour revitaliser et renforcer les capacités dans les domaines de recherche essentiels. L'approche de mentorat de TSR a été jugée essentielle pour amener les chercheurs au niveau de chef de groupe.

Afin de réaffecter les ressources aux biens immobiliers et aux grands projets d'immobilisations, en 2021-2022, le CNRC a introduit une **réduction de 10 % sur 3 ans pour tous les budgets des centres de recherche** et des directions centrales du CNRC.



Compétences

Le centre de recherche reconnaît ses lacunes actuelles en matière d'équité, la diversité et l'inclusion (EDI) et fait des progrès en en augmentant sa représentation des femmes. L'EDI est pris en compte lors de l'embauche, la promotion, le perfectionnement professionnel et la planification de la relève.

TSR a accru sa représentation des personnes racisées et des femmes, mais n'a pas atteint la pleine disponibilité sur le marché du travail

Au cours de la période d'évaluation, TSR a augmenté sa représentation des personnes racisées (de 70 % de la disponibilité sur le marché du travail à 97 %) et des femmes (de 65 % de la disponibilité sur le marché du travail à 80 %). TSR est dirigé par une femme qui occupe un poste au sein de la direction générale depuis 2019. Le CEP a noté un excellent équilibre entre les sexes lors de la visite des installations de TSR.

Les statistiques sur le nombre d'Autochtones et de personnes handicapées n'étaient pas disponibles, car les chiffres étaient trop faibles.

La direction de TSR prend des mesures concernant l'EDI

La direction de TSR a indiqué que TSR a activement tenu compte de l'EDI lors de l'embauche et de la promotion.

En raison de divers facteurs structurels, les femmes et les personnes de diverses origines ethniques, géographiques et socioéconomiques sont sous-représentées dans le bassin de talents en physique et en quantique⁷.

Le CEP a reconnu les efforts de la direction de TSR pour promouvoir l'EDI et le travail acharné pour équilibrer l'équipe en offrant des occasions de gestion de projet pour renforcer les compétences.

⁷ Wall, Katherine (2019), *Persistence and representation of women in STEM programs*, Statistique Canada



Compétences



Exemples de stratégies d'atténuation :

- ✓ promouvoir l'auto-identification
- ✓ tirer des leçons des pratiques exemplaires du CNRC et d'autres organisations
- ✓ offrir une formation à tous les niveaux sur les préjugés inconscients
- ✓ encourager la participation des femmes aux événements de STIM

Les stratégies ayant une incidence à plus long terme comprennent :

- ✓ la planification de la relève en mettant l'accent sur le recrutement qui tient compte de l'EDI
- ✓ mettre l'accent sur l'EDI pour le renouvellement des chefs de groupe

« Je veux être l'endroit où les femmes sentent qu'elles peuvent venir s'épanouir et se sentir à l'aise ».

— DG de TSR, juin 2023



Compétences



Le CQ met en œuvre des stratégies qui s'attaquent aux obstacles et aux préjugés systémiques.

Analyse comparative entre les sexes plus au sein du programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » (CQ)

Un rapport, commandé par le CNRC, a appliqué l'analyse comparative entre les sexes plus (ACS Plus) aux processus des programmes Défi, y compris le CQ. D'après ce rapport, les programmes Défi, comme le CQ, mettent en œuvre des stratégies pour éliminer les obstacles et les préjugés systémiques qui désavantagent les femmes, les personnes issues de la diversité des genres, les Noirs, les Autochtones et les personnes de couleur lorsqu'ils demandent à participer à la recherche et y prennent part. Voici des exemples de ces stratégies :

- veiller à ce que les comités consultatifs comprennent des universitaires et des praticiens de l'industrie de divers horizons
- la mise en pratique de techniques inclusives de conception et d'animation de réunions pour les activités de consultation
- cibler les fonds de subventions et de contributions pour encourager l'embauche et le perfectionnement professionnel de divers chercheurs





Compétences

La mise en œuvre du CQ a montré un effet positif de la prise en compte de l'ACS Plus dans les activités de recherche, en particulier dans les processus de sélection et d'examen des projets. Les processus de sélection des projets et d'examen annuel des projets de CQ fournissent des preuves que les facteurs d'ACS Plus sont inclus. Les chercheurs principaux (CP) :

- sollicitent les candidatures des groupes sous-représentés en faisant une large publicité et en rédigeant des annonces inclusives
- établissent à l'avance des grilles de critères d'évaluation pour éviter les préjugés inconscients
- ne mettent pas l'accent sur l'importance des notes ou d'un parcours professionnel continu
- tiennent compte des éventuels préjugés implicites dans les lettres de recommandation
- participent activement à la formation sur l'EDI, ACS Plus, le harcèlement sexuel et les comportements répréhensibles

À titre d'exemple, dans un plan de projet du CQ :

- tous les membres de l'équipe suivraient une formation sur les préjugés inconscients
- les processus de recrutement des chercheurs principaux seraient annoncés à l'ensemble de l'équipe de recherche ou à l'ensemble du ministère (pour les chercheurs chevronnés)
- les membres supérieurs appuieraient et intégreraient les membres de l'équipe issus des groupes sous-représentés (p. ex., en alternant les présentations pour garantir l'égalité des chances)
- l'équipe inclurait tous les membres dans les activités sociales et organiserait certaines activités sociales qui favorisent la diversité culturelle



Installations

Les installations quantiques sont excellentes, mais la planification future de ces installations devrait se poursuivre. Les installations de photonique de TSR devaient faire l'objet d'un renouvellement 13,5 M\$ lors de la première vague du projet de renouvellement des installations du CNRC, qui débutera probablement en 2023-2024. Certaines installations de matériaux de pointe ont besoin d'améliorations substantielles.

Les installations quantiques sont excellentes, mais certaines mises à niveau sont nécessaires

L'examen des installations du CNRC (2017 à 2021), a permis d'en arriver aux conclusions suivantes :

- Les installations d'information quantique et d'information quantique ultrarapide disposent de laboratoires adéquats qui ont une incidence dans leurs domaines.
- L'installation de photonique à fibres dispose d'une technologie suffisante, mais vieillissante. Certaines entreprises ont acquis des capacités technologiques au-delà de ce que l'installation de photonique à fibres peut faire, réduisant ainsi son avantage concurrentiel.

Le personnel de TSR était d'avis que le centre de recherche dispose d'installations quantiques adéquates, mais a fait remarquer que l'immeuble sis au 100, Sussex pourrait devenir un facteur limitatif en raison de son âge, de sa configuration et de sa taille.

Le CEP a constaté que les installations quantiques étaient excellentes, mais a remarqué que la planification de l'installation doit avoir lieu maintenant afin d'assurer l'intégration future dans les systèmes. À cette fin, les installations de photonique de TSR devaient faire l'objet d'un renouvellement 13,5 M\$ dans la première vague du projet de renouvellement des installations du CNRC avec l'achat d'équipement à partir de 2023-2024.



Installations

TSR dispose d'un certain nombre d'outils informatiques scientifiques spécialisés, qui sont nécessaires pour la recherche quantique qu'il mène. Le CEP a relevé certaines lacunes à l'appui de ces outils. Le calcul haute performance du CNRC au sein de TSR nécessite un soutien informatique scientifique spécialisé (distinct des TI) et des mises à niveau de l'infrastructure.

Certaines installations de matériaux de pointe ont besoin d'améliorations substantielles

L'examen des installations du CNRC (2017 à 2021), a permis d'en arriver aux conclusions suivantes :

- L'installation de production de nanomatériaux dispose d'une technologie de pointe et de systèmes spécialisés pour la synthèse de matériaux, ce qui a fourni à TSR un avantage concurrentiel, en particulier en ce qui concerne le procédé de purification des nanotubes de carbone simple paroi (SWCNT).
- L'installation de nanomatériaux manque de ressources humaines suffisantes pour soutenir adéquatement les partenaires de l'industrie, ce qui rend la collaboration de l'industrie difficile.

Le CEP a noté que l'état physique actuel des laboratoires de matériaux de pointe (en particulier les installations à M-23 et M-12) pourrait nuire au moral et à la capacité de TSR d'attirer et de retenir le PHQ. Dans l'installation M-12, le CEP était préoccupé par l'état des bancs des laboratoires de chimie en bois « anciens et tachés », en particulier.



Recommandations et Réponse et plan d'action de la direction



Justification et recommandations

Matériaux de pointe : orientation et leadership

La recherche sur les matériaux de pointe de TSR est harmonisée avec les besoins des clients et d'autres programmes Défi et comporte moins d'orientation stratégique globale. Une orientation stratégique aiderait à établir l'ordre de priorité des domaines de recherche, à fournir une orientation future et à définir le rôle de TSR dans l'écosystème des matériaux de pointe. De plus, du côté des matériaux de pointe, TSR n'a pas de stratégie de mobilisation bien articulée, ce qui est nécessaire dans l'orientation stratégique pour guider les endroits où TSR devrait se mobiliser.

Matériaux de pointe : installations

Les installations de matériaux de pointe de TSR ont besoin d'améliorations substantielles. Le CEP a noté le mauvais état physique des bancs en bois des laboratoires de chimie (dans l'installation M-12), ajoutant que l'état des laboratoires de matériaux de pointe (y compris l'installation M-23) pourrait nuire au moral et à la capacité de TSR d'attirer et de retenir du personnel hautement qualifié.

Science et technologie quantiques : soutien à de nouvelles orientations

Les chercheurs de TSR sont mis à rude épreuve au fur et à mesure que les projets du programme Défi se poursuivent. Les fonds obtenus ont contribué à la viabilité à court terme de TSR; toutefois, le CEP a fait remarquer que les chercheurs de TSR pourraient être débordés par les nouveaux programmes et l'accent mis sur la génération de revenus. Cela pourrait avoir une incidence sur la capacité du centre de recherche à maintenir un leadership scientifique.

Recommandation 1

TSR devrait établir une orientation stratégique claire pour le domaine des matériaux de pointe qui permettra aux dirigeants d'établir l'ordre de priorité des domaines susceptibles d'avoir la plus grande incidence. Cela pourrait comprendre l'élaboration d'une stratégie sur les matériaux de pointe à l'échelle du CNRC.

Recommandation 2

TSR devrait identifier les priorités, élaborer des stratégies et mettre en œuvre des actions pour régler les problèmes d'état physique cernés par le CEP et s'assurer que les installations de matériaux de pointe soutiennent l'attraction et la rétention de PHQ.

Recommandation 3

Lors de l'examen de nouvelles orientations quantiques (p. ex., la mise en réseau quantique), TSR doit faire correspondre les compétences, les capacités et les installations disponibles à son programme quantique en dressant la carte des points forts existants de TSR, en examinant les lacunes et en générant un plan concret pour combler les lacunes.



Réponse et plan d'action de la direction

Recommandation 1

TSR devrait établir une orientation stratégique claire pour le domaine des matériaux de pointe qui permettra aux dirigeants d'établir l'ordre de priorité des domaines susceptibles d'avoir la plus grande incidence. Cela pourrait comprendre l'élaboration d'une stratégie sur les matériaux de pointe à l'échelle du CNRC.

Niveau de risque : faible

Réponse de la direction	Mesure des réalisations	Responsable(s) proposée(s)	Date(s) d'achèvement prévue
Réponse : acceptée Mesures : TSR mettra au point une stratégie sur les matériaux de pointe qui tient compte des travaux de l'EPA, de NANO et d'autres centres de recherche du CNRC dans le domaine des matériaux de pointe.	Élaboration d'une stratégie des matériaux de pointe pour TSR.	DG de TSR	Juin 2025



Réponse et plan d'action de la direction

Recommandation 2

TSR devrait identifier les priorités, élaborer des stratégies et mettre en œuvre des actions pour régler les problèmes d'état physique cernés par le CEP et s'assurer que les installations de matériaux de pointe soutiennent l'attraction et la rétention de PHQ.

Niveau de risque : modéré

Réponse de la direction	Mesure des réalisations	Responsable(s) proposée(s)	Date(s) d'achèvement prévue
<p>Réponse : acceptée</p> <p>Mesures : SDT identifiera les priorités et établira des stratégies pour les installations de matériaux de pointe, dans le cadre du plan opérationnel de TSR 2024-2025. TSR poursuivra également sa collaboration avec la Direction de la planification et de la gestion des biens immobiliers afin d'identifier un espace approprié pour la relocalisation des installations à M-23. De plus, les problèmes d'état physique de l'installation M-12 seront adressés.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plan opérationnel 2024-2025. 2. Des mises à niveau mineures (p. ex., nouveau comptoir) au laboratoire de l'installation M-12 ont été effectuées. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. DG de TSR 2. DG de TSR 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Juin 2024 2. Juin 2025

Réponse et plan d'action de la direction

Recommandation 3

Lors de l'examen de nouvelles orientations quantiques (p. ex., la mise en réseau quantique), TSR devrait faire correspondre les compétences, les capacités et les installations disponibles à son programme quantique en dressant la carte des points forts existants de TSR, en examinant les lacunes et en générant un plan concret pour combler les lacunes.

Niveau de risque : faible

Réponse de la direction	Mesure des réalisations	Responsable(s) proposée(s)	Date(s) d'achèvement prévue
<p>Réponse : acceptée</p> <p>Mesures : TSR formulera un plan de ressourcement interne (décrivant les forces et les lacunes) fondé sur de nouvelles orientations et des consultations avec les intervenants.</p>	Formulation d'un plan de ressourcement interne.	DG de TSR	Juin 2026

Annexes

Annexe A: méthodologie

Étude bibliométrique

L'équipe du renseignement et de l'analytique du CNRC a procédé à une évaluation bibliométrique. L'ensemble de données de publication de TSR a été compilé en effectuant une recherche dans la base de données Scopus pour toutes les publications affiliées au CNRC pour la période de 2017 à 2022. Les publications du centre de recherche ont été recensées en fonction de la base des références à TSR dans les métadonnées ou la paternité. La liste a été validée par le centre de recherche.



Examen de données

Les données administratives et de rendement du centre de recherche pour les exercices 2017-2018 à 2021-2022 ont été examinées afin de fournir de l'information sur l'excellence scientifique, les contributions à l'innovation en entreprise et aux solutions stratégiques gouvernementales, l'engagement des clients et les capacités. Il s'agissait notamment de données financières et de données sur les ressources humaines, les projets, les clients et la propriété intellectuelle.



Questionnaire en ligne

Un questionnaire en ligne a été distribué aux clients et aux collaborateurs de TSR (n = 127). Le questionnaire évaluait les pratiques de mobilisation et les répercussions de TSR sur les clients et les collaborateurs. Malgré les appels de suivi, le taux de réponse au questionnaire a été faible (n = 22, taux de réponse de 18 %). À un niveau de confiance de 95 %, ce taux de réponse génère une marge d'erreur de 20 %. Compte tenu du faible taux de réponse, les résultats du questionnaire n'ont été utilisés qu'en conjonction avec d'autres sources de données qualitatives.



Examen de documents

Les documents internes et externes ont été examinés et analysés afin de fournir un contexte et de compléter d'autres sources de données pour évaluer la pertinence, l'engagement et le rendement du centre de recherche.



Annexe A: méthodologie

Entrevues avec les intervenants interrogés clés

Des entrevues ont été menées auprès de 15 employés internes et de 20 intervenants externes afin de recueillir des perceptions et des connaissances spécialisées liées à la pertinence, à la mobilisation et au rendement de TSR. Les conclusions tirées des entrevues ont fourni des renseignements contextuels et ont été utilisées conjointement avec les autres sources de données. L'évaluation n'était pas fortement axée sur les collaborations avec d'autres centres de recherche et d'autres programmes Défi du CNRC (en raison de l'évaluation simultanée des programmes de collaboration en sciences, en technologie et en innovation), mais elle comprenait cette information, le cas échéant.



Comité d'examen par les pairs

Un Comité d'examen par les pairs (CEP) international a été convoqué à Ottawa du 12 au 15 juin 2023 pour évaluer le rendement de TSR au cours de la période d'évaluation. Le CEP était composé de 8 personnes ayant une expertise en science et technologie quantiques et en science des matériaux de pointe. Le CEP, dirigé par le président, a rédigé le rapport du CEP, y compris les recommandations, qui ont été prises en compte dans l'élaboration du présent rapport d'évaluation.



Annexe B: limites et stratégies d'atténuation

Bien que l'évaluation ait rencontré certains défis, les limites méthodologiques ont été atténuées, dans la mesure du possible, grâce à l'utilisation de multiples sources de données et à la triangulation des données. Cette approche a été adoptée afin d'établir la fiabilité et la validité des conclusions et de s'assurer que les conclusions et les recommandations étaient fondées sur des données probantes objectives et documentées. Les détails sur les limites et les stratégies d'atténuation connexes sont décrits ci-dessous.

Utilisation de publications pour mesurer l'excellence scientifique

L'utilisation du facteur d'impact pondéré par discipline (FIPD), comme mesure de l'excellence scientifique, introduit une limite, car seules les publications comprises dans Scopus sont incluses et les citations s'accumulent au fil du temps (c.-à-d. que les articles récents auront généralement un nombre de citations inférieur à celui des articles qui datent d'au moins 2 ans). Par conséquent, l'excellence scientifique des publications plus récentes est probablement sous-estimée.

Mesures d'atténuation : Pour atténuer cette limite, d'autres sources de données ont été utilisées pour évaluer l'excellence scientifique et l'avancement des connaissances pour le centre de recherche.

Faible taux de réponse au questionnaire en ligne

Le faible taux de réponse au questionnaire en ligne (18 %) aurait pu introduire un biais d'échantillonnage, réduisant ainsi la représentativité de la population⁹. Par conséquent, les résultats du questionnaire en ligne ne sont pas généralisables à la population cible.

Mesures d'atténuation : Pour atténuer cette limite, le cas échéant, les résultats ont été utilisés pour compléter d'autres sources de données qualitatives.

⁹ Fincham, J. (2008), *Response Rate and Responsiveness for Surveys, Standards and the Journal*, [Response Rates and Responsiveness for Surveys, Standards, and the Journal](#)



Annexe B: limites et stratégies d'atténuation

Manque d'équilibre entre les genres au sein du Comité d'examen par les pairs

Malgré tous ses efforts, la RPC n'a pas réussi à établir un équilibre entre les genres. L'équipe d'évaluation a invité 6 femmes expertes à se joindre au comité, mais une seule était disponible et a accepté.

Mesures d'atténuation : Malheureusement, l'absence d'équilibre entre les genres au sein du CEP n'a pas pu être atténuée.

Incapacité de 2 membres du CEP à assister au CEP en personne

2 membres du CEP n'ont pas pu assister aux réunions à Ottawa. Ils ont participé de manière virtuelle; toutefois, ils n'ont pas pu assister aux activités en personne (p. ex., visites des installations, réunions avec des chercheurs en début de carrière). Cela a créé des difficultés à intégrer leurs points de vue dans les délibérations du CEP.

Mesures d'atténuation : L'incapacité de 2 membres du CEP à assister en personne n'a pas pu être atténuée, mais ils ont participé de manière virtuelle dans la mesure du possible.

Annexe C: membres du Comité d'examen par les pairs



Sir Peter Knight (président du comité)

Chercheur émérite et directeur de l'optique quantique et de la spectroscopie, Institut für Experimentalphysik
Universität Innsbruck



Mohammad Arjmand, Ph. D.

Professeur adjoint de la Chaire de recherche du Canada en génie des matériaux de pointe et des polymères
Université de la Colombie-Britannique



Rainer Blatt, Ph. D.

Directeur du National Graphene Institute
Professeur de physique théorique,
Université de Manchester



Steven Cundiff, Ph. D.

Directeur, professeur de physique et professeur de génie électrique et d'informatique du Harrison M. Randall Collegiate
Université du Michigan



Vladimir Falko, Ph. D.

Directeur du National Graphene Institute
Professeur de physique théorique,
Université de Manchester



Aaron Franklin, Ph. D.

Professeur de génie électrique et informatique
Université Duke



Mark Ritter, Ph. D.

Président, Conseil des sciences physiques,
IBM Research



Clara Santato, Ph. D.

Chaire de recherche du Canada en électronique organique durable
Professeure de génie physique,
Polytechnique Montréal

