

**RAPPORT ANNUEL 2020-2021 DE LA**  
**CHAIRE DE RECHERCHE DU CANADA EN OPTIQUE ET INFORMATION QUANTIQUE**  
**POUR LE SÉNAT ACADÉMIQUE**

**TITULAIRE DE LA CHAIRE : DENY HAMEL**

**1. BILAN**

a) Objectifs fixés en 2020-2021

Pour l'année 2020-2021, notre premier objectif était d'achever le projet de construction de la source de triplets de photons intriqués en polarisation. Le montage étant déjà complété, il restait à effectuer les expériences de validation et à publier les résultats.

Le deuxième objectif était l'exploration d'une stratégie pour amplifier l'efficacité de la fluorescence paramétrique en cascade à l'aide d'une cavité active, en utilisant une cellule de Pockels pour piéger un photon et lui donner plusieurs chances d'être converti dans un cristal non linéaire. Ce projet comportait deux aspects, un théorique et l'autre expérimentale. Du côté expérimental, nous visions à effectuer un montage pour faire une première démonstration du principe. L'utilité de ce premier montage sera limitée par certaines contraintes techniques, mais servira d'une preuve de concept. Du côté théorique, nous souhaitons explorer la viabilité ultime de la méthode avec des paramètres optimisés.

Nous envisageons également la possibilité d'entamer d'autres projets de recherche, notamment l'adaptation de la fluorescence pour la production de différents types d'états quantiques tels que les états de « W » à trois photons, mais ceux-ci dépendaient de la possibilité de recruter de nouveaux étudiants ou chercheurs.

b) Mandat de la chaire

La lumière a toujours joué un grand rôle dans le domaine des technologies de l'information. La création de l'Internet a notamment été rendue possible par des innovations en optique telles que les lasers et les fibres optiques. Ces avancées dans le secteur des communications entraînent aujourd'hui un besoin toujours grandissant pour des méthodes efficaces de transmission et de traitement de l'information.

Or, de récentes découvertes ont démontré qu'en exploitant les propriétés quantiques de la lumière, un nouveau type de technologies de l'information pourra voir le jour : l'information quantique. Celle-ci rendra possible la création de systèmes nous permettant de communiquer de façon absolument sécuritaire ainsi que l'élaboration d'un tout nouveau concept d'ordinateurs capable de résoudre des problèmes mathématiques entièrement hors de la portée des ordinateurs d'aujourd'hui.

Le mandat de la chaire de recherche du Canada en optique et information quantiques est d'exploiter de nouvelles interactions optiques, notamment la fluorescence paramétrique en cascade, pour développer des dispositifs donnant lieu au déploiement de ces applications prometteuses. Les travaux de la chaire visent ainsi à perfectionner notre habileté de créer, de manipuler et de mesurer la lumière quantique en exploitant de nouveaux processus d'interactions entre des particules de lumière. Les résultats des efforts nous permettront d'accéder efficacement aux propriétés quantiques de la lumière, facilitant ainsi le développement de nouvelles technologies telles que les ordinateurs quantiques.

#### c) Ressources humaines et infrastructure de RDC

Au cours de l'année 2020-2021, l'équipe de recherche de la chaire comptait quatre étudiants de maîtrise, donc un a déjà soutenu sa thèse et un autre aura sa soutenance cet été. Une chercheuse postdoctorale, Samridhi Gambhir, s'est ajoutée au groupe depuis décembre 2020. Le recrutement de nouveaux étudiants gradués s'est avéré plus difficile en raison de la pandémie, mais nous espérons que ce défi sera amoindri cet été avec la réouverture progressive des frontières.

Au niveau de l'infrastructure de recherche, le laboratoire est bien équipé pour faire avancer la recherche. Au cours de la dernière année, nous avons ajouté deux autres pièces d'équipement importantes, soit une cellule de Pockels, nécessaire pour des expériences avec cavité active, et un spectromètre plus performant pour l'accordage de la longueur d'onde des sources de photons intriqués

d) Activités de RDC réalisées en 2020-2021

**Programmes et projets principaux**

Les travaux expérimentaux visant la création d'une source stable de trois photons intriqués, en cours depuis plusieurs années, ont finalement abouti. Nos mesures montrent que cette source produit des états quantiques d'une qualité supérieure à toutes les autres sources existantes. Ces résultats ont été présentés récemment à la conférence Photonics North par Zachary Chaisson, mon étudiant de maîtrise. Un article exposant nos réalisations en détail est également en préparation et sera soumis cette année.

Malgré la qualité des états quantiques produits par la source, ces résultats ont également révélé que les taux de productions de la fluorescence paramétrique en cascade représentent encore une lacune considérable. Ceci justifie le redoublement des efforts vers notre projet visant la création d'une cavité active pour l'amplification des taux de production de cette méthode. Au cours de la dernière année, ce projet a progressé significativement. Mon étudiant de maîtrise, Alexandre Léger, a d'abord effectué des études théoriques pour choisir les composantes idéales. Nous avons ensuite fait l'acquisition de tous ces éléments, qui sont maintenant en place. La construction du montage est en cours, avec la caractérisation des composantes principales largement complétée. Le projet en est à l'étape du débogage. Nous anticipons commencer à recueillir des données au cours des prochains mois.

e) Autres activités réalisées en 2020-2021

**Services à la collectivité, etc.**

En tant que titulaire de chaire, j'ai participé au cours de l'année 2020-2021 aux activités suivantes de services à la collectivité :

- Comité de conférence du département de physique, incluant l'organisation de sept conférences cette année;
- Lecteur interne pour demande de CRSNG de Lambert Giner;
- Juge pour session d'affiches du cours de Séminaire en physique;
- Juge pour le concours des jeunes chercheuses et chercheurs de l'Université de Moncton;
- Évaluateur d'articles pour Quantum Information Processing et Applied Physics Letters;
- Évaluateur externe pour une demande de subvention Alliance du CRSNG;
- Évaluateur externe pour trois demandes de subventions Découverte du CRSNG.

f) Financement

Depuis 2014, le financement accordé à mon groupe de recherche totalise une valeur de 1 779 713\$. Ce montant inclut un prolongement automatique d'un an de ma subvention à la découverte du CRSNG en raison de la pandémie du COVID-19.

Cette année, le groupe a reçu une nouvelle subvention l'initiative d'assistanats à la recherche de la FINB, qui servira à l'embauche d'un étudiant gradué pour le projet d'exploration des matériaux de pointes pour la fluorescence paramétrique en cascade.

L'année à venir sera importante au niveau du financement des activités de la Chaire de recherche du Canada, puisque deux des subventions principales d'opérations sont à renouveler : la subvention à la découverte du CRSNG, ainsi que la chaire elle-même.

**Financement de recherche actif en 2020-2021 et au-delà**

<b>Titre de la demande</b>	<b>Organisme et programme</b>	<b>Montant annuel</b>	<b>Années de validité</b>
Exploring novel materials for quantum light source based on cascaded downconversion	Initiative d'assistanats à la recherche de la FINB	15 000 \$	2021-2023
Amplification de la fluorescence paramétrique en cascade avec une cavité active	Initiative de techniciens(nes) à la recherche de la FINB	30 000 \$	2020-2023
Élaborations de montages optique et électronique pour le développement d'une cavité active pour l'information quantique	Initiative d'assistanats à la recherche de la FINB	27 000 \$	2019-2021
Chaire de recherche en optique et information quantique	Allocation de recherche de premier mandat du CRSNG	20 000 \$	2018-2022
	Chaire de recherche du Canada	100 000 \$	2017-2022
Cascaded downconversion for multiphoton entanglement and quantum information processing	Programme de subventions à la découverte du CRSNG	27 000 \$	2015-2022

Définitions des acronymes :

CRSNG - Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada

FINB - Fondation de l'innovation du Nouveau-Brunswick

## 2. OBJECTIFS POUR L'ANNÉE 2021-2022

Pour l'année 2020-2021, nos efforts principaux viseront à adresser la principale lacune de la fluorescence paramétrique révélée par nos travaux récents, c'est-à-dire les faibles efficacités de conversion.

Avec ce but en vue, notre premier objectif est d'achever le projet d'amplification de la fluorescence paramétrique avec une cavité active. Jusqu'ici, ce projet avance bien. L'ensemble des composantes et des équipements nécessaires sont maintenant en place et sont en train d'être assemblés pour compléter le montage expérimental. Durant la période 2021-2022, nous espérons compléter ce montage, effectuer la prise de données pour et préparer un article pour présenter ces résultats. Ceux-ci nous permettront d'évaluer le potentiel de cette approche pour amplifier l'efficacité de la fluorescence paramétrique en cascade.

Le deuxième objectif est d'explorer une autre avenue pour augmenter les taux de productions de triplets de photon avec la fluorescence paramétrique en cascade : l'utilisation de matériaux avec de plus fortes non-linéarités. Récemment, plusieurs groupes ont rapporté des résultats encourageants dans le développement de nouveaux matériaux avec de grandes non-linéarités optiques. Cependant, ces matériaux n'ont pas encore été largement étudiés dans le cadre de la fluorescence paramétrique en cascade. Nous visons donc à explorer le plus prometteur de ces matériaux au sein de nos applications, dans le but de construire une nouvelle source de lumière quantique pour faire avancer le domaine des technologies quantiques.

Parallèlement à ces principales directions de recherches, nous espérons, au cours de la prochaine année, diversifier les directions de recherches de la chaire, notamment au travers de collaborations internes. Dans ce sens, un projet collaboratif avec le professeur Jean-François Bisson tentera de mesurer les propriétés statistiques d'une nouvelle source de lumière développée au sein de son groupe de recherche. Nous envisageons également d'entreprendre des travaux collaboratifs avec le professeur Lambert Giner, qui s'est récemment joint au Département de physique et d'astronomie et qui a une expertise en optique quantique et particulièrement dans l'implémentation de mesures faibles.