

RAPPORT ANNUEL 2021-2022 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 2021-2022

Pour l'année 2021-2022, notre premier objectif était d'achever le projet d'amplification de la fluorescence paramétrique avec une cavité active. Alors que l'ensemble des composantes et des équipements nécessaires était en place au début de l'année, il restait à les assembler pour compléter le montage expérimental et à effectuer la prise de données pour valider cette approche.

Le deuxième objectif principal était 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. Nous visions à explorer de nouveaux matériaux prometteurs pour cette application.

Parallèlement à ces principales directions de recherches, nous espérons, au cours de l'année, diversifier les directions de recherches de la chaire, notamment au travers de collaborations internes.

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 quantique 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 2021-2022, l'équipe de recherche de la chaire comptait deux étudiants de maîtrise, donc un a soutenu sa thèse en février 2022, un étudiant de doctorat et une chercheuse postdoctorale, Samridhi Gambhir. Un étudiant de premier cycle s'est également joint à l'équipe pour l'été 2022. Les défis de recrutement engendré par la pandémie semblent s'amoinrir, avec un rétablissement des candidatures internationales. On anticipe d'ailleurs l'ajout d'un étudiant de maîtrise et d'un étudiant de doctorat pour l'année prochaine.

Au niveau de l'infrastructure de recherche, le laboratoire est bien équipé pour faire avancer la recherche. Cependant, nous avons eu un certain nombre de défis au cours de la dernière année avec des bris d'équipement. Ceci inclut un de nos dispositifs optique non linéaire qui a cessé de fonctionner en août 2021, les détecteurs à nanofils supraconducteurs qui ont nécessité de l'entretien au cours de l'hiver 2022, et un laser ajustable qui est tombé en panne en juin 2022. Cependant, tous ces appareils ont maintenant été réparés ou remplacés.

d) Activités de RDC réalisées en 2021-2022

Programmes et projets principaux

Une grande partie des énergies de la chaire ont été dédiées à une démonstration de l'amplification de la fluorescence paramétrique avec une cavité active. Malgré plusieurs délais causés par les bris d'équipement cités précédemment, ce projet est maintenant sur le point d'aboutir. Les mesures expérimentales ont été complétées en juin 2022. Ces résultats montrent clairement que la méthode est une méthode viable pour bonifier les taux de productions de triplets de photons. Un article sur ce sujet est déjà en cours de préparation et sera soumis pour la revue par les paires au cours des prochains mois.

Des efforts ont également été consacrés sur la recherche de nouveaux matériaux pour la fluorescence paramétrique en cascade. Nous avons entamé une revue de littérature approfondie d'une approche prometteuse, c'est-à-dire le niobate de lithium en couches minces. Nous avons constaté que les efficacités en génération de second harmonique de ce matériau sont encourageantes, mais les résultats récents pour les créations de paires sont moins impressionnants. Cependant, il s'agit d'un domaine qui évolue rapidement depuis quelques années. Nous espérons donc clarifier cette question.

Nous avons également entamé un projet collaboratif avec le professeur Jean-François Bisson dans le but de mesurer les propriétés statistiques d'une nouvelle source de lumière développée au sein de son groupe de recherche. Nous travaillons actuellement à valider une méthode servant à caractériser le degré de corrélation de second ordre de source lumineuse, en utilisant d'abord des sources dont les propriétés sont connues. Si ces mesures fonctionnent, nous pourrons ensuite les appliquer à la source du professeur Bisson.

Diffusion de la recherche

Un article scientifique a été publié au cours de la dernière année dans la revue *Physical Review A*, présentant notre réalisation d'une source stable de triplets de photons intriqués en polarisation.

De plus, nos résultats envers l'amplification de la fluorescence paramétrique en cascade avec une cavité active ont été présentés à deux conférences internationales : par mon étudiant de maîtrise Alexandre Léger à CLEO (San Jose) et par ma chercheuse postdoctorale Samridhi Gambhir à Photonics North (Niagara Falls). Un article présentant ces résultats est également en préparation et sera soumis cette année.

e) Autres activités réalisées en 2021-2022

Services à la collectivité, etc.

En tant que titulaire de chaire, j'ai participé au cours de l'année 2021-2022 aux activités suivantes de services à la collectivité :

- Présentation d'une conférence de vulgarisation invitée (Keynote) à l'AUPAC, une conférence de physique et d'astronomie pour les étudiants de premier cycle;
- Participation au comité de conférence du département de physique, incluant l'organisation de quatre conférences cette année;

- Évaluateur de deux articles pour le Canadian Journal of Physics;
- Évaluateur externe pour une demande de subvention Photonique Quantique Québec (PQ2);
- Accueil d'un étudiant pour la journée carrière.

f) Financement

Cette année a été importante au niveau du financement, car c'était l'année de renouvellement pour la Chaire de recherche ainsi que ma Subvention à la découverte du CRSNG. Ces deux renouvellements ont été approuvés, ce qui place les activités de la chaire en bonne posture financière pour les cinq prochaines années.

Financement de recherche actif en 2021-2022 et au-delà

Titre de la demande	Organisme et programme	Montant annuel	Années de validité
Chaire de recherche en optique et information quantique	Chaire de recherche du Canada	100 000 \$	2022-2027
A novel source of quantum light: harnessing cascaded downconversion as a resource for quantum technologies	Programme de subventions à la découverte du CRSNG	24 000 \$	2022-2027
Exploring novel materials for quantum light source based on cascaded downconversion	Initiative d'assistantats 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
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 2022-2023

Pour l'année 2022-2023, une partie importante des activités de la chaire demeureront ciblées vers la fluorescence paramétrique en cascade. Nous continuerons nos efforts vers l'intensification de ce processus, soit avec de nouveaux matériaux ou par l'utilisation d'une cavité active. Pour cette dernière, il nous reste encore à l'appliquer en mode pulsé, ce qui permettra d'activer la cavité active sans perturber l'état du premier photon créé. Nous viserons également à étudier une application de grand intérêt de la fluorescence paramétrique en cascade : la précertification de photon. Il s'agit d'une avenue potentielle vers la cryptographie quantique indépendante des appareils, un objectif d'envergure dans le domaine de la communication quantique. J'espère dans la prochaine année effectuer une expérience pour vérifier une manière de faire la précertification de photons sans avoir besoin d'un commutateur rapide. Nous étudierons également la possibilité d'entamer une collaboration à l'externe pour développer des circuits optiques intégrés pour effectuer la précertification de photons.

Nous continuerons également à diversifier les activités du groupe. En plus de continuer nos travaux sur les statistiques de photons, nous lancerons également un nouveau projet visant à étudier une manière novatrice de décomposer des ensembles d'opérateurs hermétiques positifs (POVM). Il s'agit d'un type de mesures quantiques généralisées, qui sont d'un grand intérêt pour l'information quantique. Des chercheurs ont récemment démontré une nouvelle approche qui a l'avantage de fournir une décomposition qui requiert un nombre d'éléments optiques raisonnable même pour des systèmes de plusieurs photons. Nous viserons à démontrer la faisabilité de cette nouvelle méthode de décomposition de manière expérimentale.