

TÉLÉPORTATION QUANTIQUE À TRAVERS UN RÉSEAU DE FIBRES OPTIQUES MÉTROPOLITAIN

La téléportation quantique permet, en principe, la téléportation d'états quantiques sur des distances arbitrairement grandes et comporte plusieurs applications en matière de protocoles de communications et de cryptographie. Ces travaux offrent la première démonstration de la téléportation quantique sur plusieurs kilomètres à l'aide de photons d'une longueur d'onde propre aux réseaux de télécommunications.

CONTEXTE

Contrairement à l'univers classique, la mesure de systèmes quantiques peut considérablement modifier leur évolution dans le temps. En fait, les mesures font souvent partie intégrante de protocoles de traitement de l'information quantique. Par exemple, les mesures jouent un rôle important dans l'intrication, un phénomène mécanique quantique pur aux profondes conséquences. Quand deux particules sont intriquées, la mesure de l'une influence immédiatement l'état de l'autre, peu importe la distance qui les sépare.

La téléportation quantique associe les mesures et l'intrication pour téléporter l'état d'un qubit (l'analogie quantique d'un bit classique) à un deuxième qubit,

peu importe la distance qui les sépare. Le récepteur (par convention, Bob) doit préparer un état intriqué (appelé état de Bell) et partager un de ces qubits avec l'expéditrice « Alice » qui prend des mesures de Bell sur son système conjoint. Selon le résultat de la mesure, Bob réalise une opération locale sur son deuxième qubit qui permet la téléportation efficace de l'état d'Alice à Bob.

En pratique, les canaux bruyants limitent la distance de téléportation des photons (particules de lumière qui peuvent servir de qubit). Dans ces travaux, de nouveaux protocoles de téléportation ont permis d'accroître la distance sur laquelle se fait la téléportation à 6,2 km.

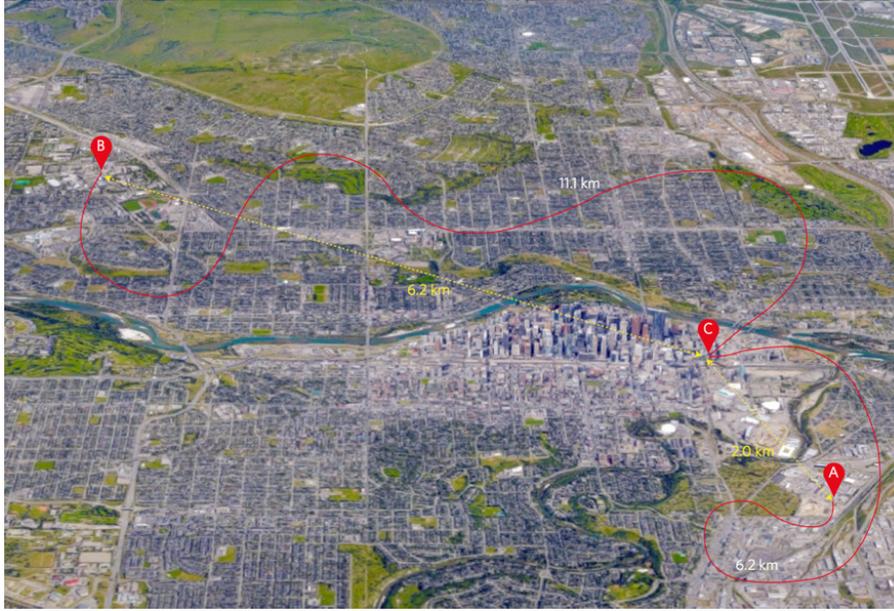
RÉSULTATS

L'expérience en téléportation a été réalisée à Calgary et a mis en jeu trois lieux différents. Alice était dans le quartier Manchester et Bob était à l'Université de Calgary. Le protocole de téléportation comptait une tierce partie, Charlie, qui se trouvait dans un édifice à côté de l'hôtel de ville de Calgary, et qui a reçu des photons d'Alice et Bob. Charlie a fait des mesures sur les deux photons pour ensuite réussir à téléporter l'état d'Alice.

Les photons qui sont allés d'Alice à Charlie ont dû parcourir 6,2 km le long du réseau de télécommunications de Calgary. Les photons de télécommunications de Bob à Charlie ont dû voyager 11,1 km à travers la fibre. Pendant

la transmission, les photons ont été soumis à du bruit issu de diverses conditions environnementales qui ont eu une incidence sur leur état et le moment de leur arrivée à destination. Malgré ces difficultés, il a été démontré que l'état photonique d'Alice a été téléporté jusqu'à Bob sur une distance de 6,2 km avec une fidélité supérieure à 80 pour cent.

Il est à noter qu'en vertu du protocole, Bob n'avait qu'à envoyer des photons à Charlie sans jamais recevoir de photons d'Alice. Toutefois, en raison des lois étranges et fascinantes de la mécanique quantique, Bob a tout de même reçu l'état d'Alice.



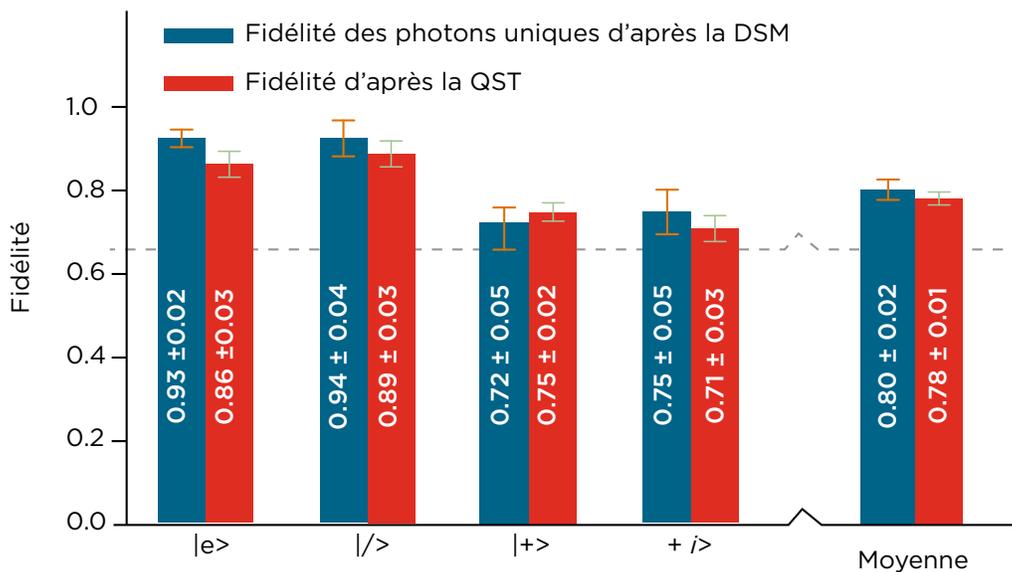
Légende : Vue aérienne de Calgary illustrant l'emplacement d'Alice (A) à Manchester, Bob (B) à l'Université de Calgary et Charlie (C) dans un édifice à côté de l'hôtel de ville de Calgary.

MÉTHODES

Alice a préparé une série de photons d'une longueur d'onde propre aux réseaux de télécommunications (1532 nm) à envoyer à Charlie. Bob a créé une paire intriquée de photons, l'une à 1532 nm et l'autre à 795 nm. Le photon de télécommunication a été envoyé à Charlie en vue de téléporter l'état d'Alice sur le photon de 795 nm de Bob. Charlie a alors effectué des mesures de Bell et projeté la paire de photons reçus sur un état intriqué spécial pour réussir à téléporter l'état d'Alice jusqu'à Bob.

Pour confirmer que Bob a reçu le bon état téléporté, il a réalisé une série de mesures sur le photon de 795 nm et les résultats ont été analysés à l'aide de plusieurs méthodes.

Pour surmonter les erreurs causées par les longues distances parcourues par les photons et par des effets environnementaux non voulus, le groupe a eu recours à un moniteur de polarisation et à une nouvelle méthode d'interférence quantique.



La fidélité des états téléportés à l'aide de la tomographie quantique (QST) et de la méthode des états leurres (DSM) pour caractériser comment l'environnement et les imperfections expérimentales influencent l'état téléporté. Pour les deux méthodes, la fidélité moyenne dépasse les 2/3, la valeur maximale possible pour la téléportation classique.

Les chercheurs ont eu recours à la tomographie quantique (quantum state tomography, QST) et à la méthode des états leurres (decoy-state method, DSM) pour caractériser comment l'environnement et des imperfections expérimentales influençaient l'état téléporté. La fidélité (qui indique dans quelle mesure l'état final correspond à l'état téléporté désiré) a été mesurée. À l'aide de la tomographie quantique, la fidélité moyenne était d'environ 78 pour cent. À

l'aide de la méthode des états leurres, la fidélité était supérieure à 80 pour cent. Dans les deux cas, la fidélité dépassait les $2/3$, la valeur maximale possible pour la téléportation classique.

Les écarts par rapport à la téléportation idéale découlent principalement de la nature distinctive des photons avant le recours à la méthode des états leurres par Charlie. Pour que fonctionne la téléportation, les photons doivent être impossibles à distinguer.

RÉPERCUSSIONS

Des amplificateurs optiques sont nécessaires pour amplifier les signaux lumineux dans les lignes de communication afin de permettre le transfert de l'information à travers le globe. Les répéteurs quantiques sont les analogues quantiques des amplificateurs optiques et élargissent la portée de la communication quantique entre les deux parties. Les répéteurs quantiques requièrent la création d'états intriqués à deux photons où un photon est absorbé, ce qui mène à la réalisation d'une DSM. Toutefois, la création de chacune des paires de photons intriqués doit se faire à grande distance et la DSM doit avoir lieu à mi-chemin entre les deux photons pour obtenir le rendement optimal. L'expérience dans cette étude a été réalisée en respectant ces exigences. Conséquemment, il serait possible d'utiliser la téléportation standard associée à un lieu intermédiaire pour mettre au point un répéteur quantique permettant des communications quantiques sur de longues distances (plus de 80 km).

Préparé par Christopher Chamberland

ICRA

INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES AVANCÉES
1400-180, Rue Dundas Ouest
Toronto, ON M5G 1Z8

www.icra.ca