

DISTRIBUTION MULTI-UTILISATEURS D'INTRICATION BIPARTITE AUX LONGUEURS D'ONDE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Julien Trapateau¹, Joe Ghalbouni², Adeline Orieux¹, Eleni Diamanti¹ et Isabelle Zaquine¹

¹ Telecom Paristech, CNRS/LTCl, 46 Rue Barrault 75013, Paris, France

² Applied Physics Laboratory, Faculty of Sciences 2, Lebanese University, Campus Fanar, BP 90656 Jdedit, Liban

isabelle.zaquine@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

Nous démontrons une réalisation expérimentale de distribution multi-utilisateurs d'intrication à partir d'une source unique de paires de photons intriqués en polarisation. On sépare les deux photons par démultiplexage. On compare différentes technologies de démultiplexeurs sur les critères de brillance et de violation de l'inégalité de Bell.

MOTS-CLEFS : *intrication ; communications quantiques ; démultiplexage ;*

1. INTRODUCTION

L'intrication est une ressource de plus en plus importante en communications quantiques. Elle permet en particulier des preuves de sécurité indépendantes des imperfections des appareils de mesure. Le passage des liaisons point à point à des réseaux de communications quantiques nécessite des solutions économiques de distribution de l'intrication. Il a été démontré [1, 2, 3] que l'on pouvait diviser la large bande d'émission de la fluorescence paramétrique en un ensemble de paires de canaux distribuant des paires de photons intriqués, à condition de respecter la symétrie en fréquence intrinsèque de la fluorescence paramétrique. On se base ici sur des technologies existantes dans le cadre du multiplexage dense en longueur d'onde des réseaux de communications classiques. Nous comparons trois technologies de démultiplexeurs du commerce pour définir les caractéristiques les plus critiques pour la qualité de l'intrication distribuée.

2. DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

La source est basée sur la fluorescence paramétrique en accord de phase de type 0 (la pompe et les deux photons de la paire ont la même polarisation) dans un cristal de PPLN de longueur 2 cm pompé en continu par une diode laser de type DFB de longueur d'onde 779 nm et de puissance 20mW. La partie gauche de la figure 1 montre le schéma expérimental : l'intrication en polarisation est basée sur un double passage de la pompe dans le cristal. La polarisation des paires créées sur le trajet "aller" de la pompe est tournée de 90° tandis que la polarisation des paires créées sur le trajet "retour" est inchangée. La différence de phase entre les deux composantes de l'état intriqué ainsi créé est stabilisée grâce à l'interféromètre de Michelson et peut être compensée par le compensateur de Babinet Soleil, de manière à obtenir l'état maximalement intriqué : $|\psi\rangle = 1/\sqrt{2}(|HH\rangle \pm |VV\rangle)$. Les deux photons de la paire sont collectés dans une fibre monomode et séparés à l'aide d'un démultiplexeur dans des canaux de fréquences centrales symétriques par rapport à la moitié de la fréquence de pompe. La mesure des corrélations en polarisation est ensuite réalisée à l'aide de lames d'onde pour choisir la base et de prismes séparateurs de polarisation fibrés. Les détecteurs de photons uniques sont des diodes à avalanche de type InGaAs, d'efficacité quantique de l'ordre de 10% et de temps mort 10 μ s déclenchés à 2 MHz avec une fenêtre de 20 ns. Une électronique rapide permet de compter les coïncidences entre les voies A et B dans une fenêtre de 1 ns. Une caractérisation préliminaire des démultiplexeurs à l'aide d'une source classique large bande nous a permis de déterminer la forme spectrale de la transmission des canaux des démultiplexeurs. Une première comparaison de la conservation des corrélations quantiques par les différents démultiplexeurs a été réalisée sur la même source en photons jumeaux [3], avant l'implémentation du montage d'intrication en polarisation, ce qui a permis de définir un premier classement à confirmer par le test de l'intrication.

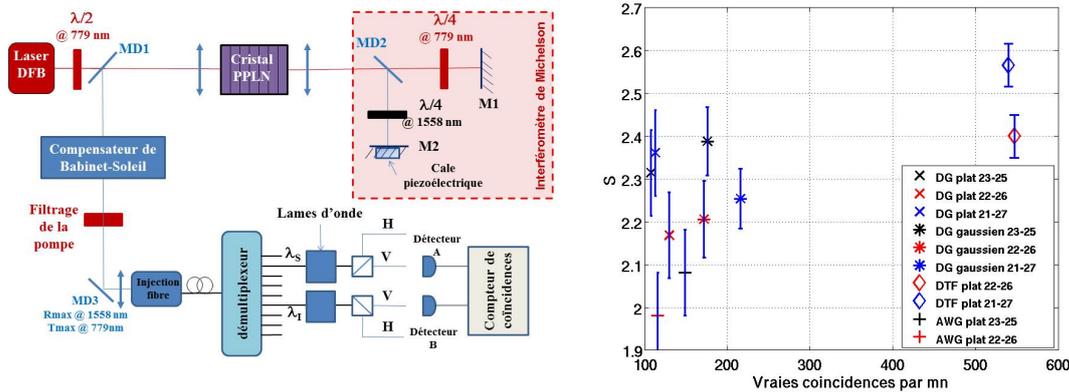


FIGURE 1 : (Gauche) Schéma expérimental de la source de photons intriqués ; (Droite) Résultats expérimentaux de la mesure de S en fonction du nombre de vraies coïncidences par minute pour 10 couples de canaux correspondant à 3 technologies de démultiplexeurs : “DG” basée sur des réseaux de diffraction, “DTF” basée sur des Fabry-Perot fibrés et “AWG” basée sur des réseaux de guides d’ondes et 2 formes de canaux “gaussiens” ou “plats” .

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Pour chacun des 4 démultiplexeurs, on a testé plusieurs couples de canaux (canaux de 100 GHz séparés de 100 GHz). Pour caractériser l’intrication, le paramètre de Bell a été mesuré et les valeurs données sont brutes (aucune correction n’a été effectuée pour soustraire le bruit des détecteurs). On a tracé la variation de S en fonction du nombre de vraies coïncidences, c’est-à-dire les coïncidences correspondant à des paires véritablement corrélées, calculé en déduisant du nombre de coïncidence mesuré le nombre de coïncidences accidentelles calculé à partir des nombres de coups sur les deux voies. Ces paramètres sont en effet tous deux importants pour l’utilisation d’une telle source dans des protocoles de communication. Les résultats montrés sur la partie droite de la figure 1 montrent de grandes différences de performances entre les différents démultiplexeurs. Pour la technologie basée sur les réseaux de diffraction, comme pour les réseaux de guide d’ondes, les pertes d’insertion limitent fortement la brillance mais les premiers donnent une bien meilleure qualité d’intrication, que les canaux soient de forme gaussienne ou plate. La technologie de Fabry-Perot fibrés donne les meilleures performances tant au niveau de la brillance que de la qualité de l’intrication. L’absence de compromis entre la qualité et la brillance ainsi que les valeurs de brillance mesurées montrent que nous sommes dans un régime où l’on n’est pas limité par l’émission de doubles paires mais plutôt par le bruit des détecteurs. De nouveaux tests seront effectués avec des puissances de pompe plus élevées.

CONCLUSION

En conclusion, nous avons démontré expérimentalement une distribution d’intrication à 3 couples d’utilisateurs, à partir d’une source unique avec différents démultiplexeurs. On peut relier de manière précise les caractéristiques des démultiplexeurs à leur performance en terme de brillance et de paramètre de Bell. L’extension à un plus grand nombre d’utilisateurs est possible avec des démultiplexeurs commerciaux.

RÉFÉRENCES

- [1] I. Herbauts, B. Blauensteiner, A. Poppe, T. Jennewein, and H. Hübel, “Demonstration of active routing of entanglement in a multi-user network”, *Optics Express* 21, 29013 (2013).
- [2] S. Arahira, H. Murai, “Nearly degenerate wavelength-multiplexed polarization entanglement by cascaded optical nonlinearities in a PPLN ridge waveguide device”, *Optics Express* 21, 7841 (2013)
- [3] J. Ghalbouni, I. Agha, R. Frey, E. Diamanti, and I. Zaquine, “Experimental wavelength-division-multiplexed photon-pair distribution”, *Optics Letters* 38, p34, (2013).