

# CRISTAUX NON LINÉAIRES POUR LA GÉNÉRATION DE TRIPLETS DE PHOTONS : DU MILIEU MASSIF AU GUIDE D'ONDE

**Kamel Bencheikh<sup>1</sup>, Enky Oudot<sup>2</sup>, Véronique Boutou<sup>3</sup>, Corinne Félix<sup>3</sup>, Augustin Vernay<sup>3</sup>, Julien Bertrand<sup>3</sup>, Florent Bassignot<sup>4</sup>, Mathieu Chauvet<sup>4</sup>, Félix Bussièrès<sup>5</sup>, Hugo Zbinden<sup>5</sup>, Ariel Levenson<sup>1</sup>, Benoît Boulanger<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, UMR9001 - CNRS - C2N, 91120 PALAISEAU – France*

<sup>2</sup>*ICFO – The Institute of Photonic Sciences, 308860 Castelldefels (Barcelona), Spain*

<sup>3</sup>*Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Institut Néel, 38000 Grenoble, France*

<sup>4</sup>*FEMTO-ST Institute, UMR CNRS 6174, Université de Bourgogne Franche-Comté, 25000 Besançon, France*

<sup>5</sup>*Université de Genève GAP-Quantum Technologies, Genève 4 – Switzerland*

[benoit.boulanger@neel.cnrs](mailto:benoit.boulanger@neel.cnrs)

## RÉSUMÉ

La génération de triplets de photons (TPG) est le moyen le plus direct de produire des états quantiques purs à trois photons qui présentent un intérêt pour l'information quantique. Nous avons réalisé une TPG bi-stimulée dans un cristal de KTP massif. Pour augmenter de plusieurs ordres de grandeur l'efficacité de l'interaction non linéaire et atteindre la TPG spontanée, nous avons développé une technologie de guides d'onde micrométriques en arête à base de KTP.

**MOTS-CLEFS :** *Optique non linéaire ; états quantiques de la lumière ; accord de phase.*

Les triplets de photons peuvent être produits par un processus de conversion optique non linéaire du troisième ordre dans lequel trois photons fortement corrélés résultent de la « scission » d'un seul photon. Ce nouvel état quantique de la lumière présente des statistiques qui vont au-delà des statistiques gaussiennes associées aux sources cohérentes et aux générateurs paramétriques optiques de photons jumeaux. Du point de vue des applications, la TPG offre notamment la possibilité de générer des paires de photons intriqués, annoncées par la détection d'un troisième photon. Cette configuration très intéressante peut être utilisée dans des protocoles de communication quantique avancés tels que les répéteurs quantiques, les amplificateurs de qubits ou la distribution de clés quantiques indépendantes du dispositif.

Lors de la génération de triplets de photons (TPG), trois photons hautement corrélés aux énergies  $h\nu_1$ ,  $h\nu_2$  et  $h\nu_3$  sont créés par l'annihilation d'un photon de plus haute énergie à  $h\nu_0$  dans un milieu non linéaire, la conservation de l'énergie étant satisfaite. Il existe trois configurations possibles concernant le niveau de stimulation : une TPG stimulée sur un, deux ou trois modes du triplet qui doit être généré. Par ailleurs la TPG spontanée est obtenue en l'absence de toute stimulation. Ces *scenarii* présentent tous un intérêt quantique [1].

Comme dans le cas des paires de photons, il est primordial de trouver des matériaux optimisés compatibles à terme avec les technologies de l'information quantique. La technologie est aujourd'hui mature dans le cas des paires de photons, avec l'avènement des cristaux à domaines ferroélectriques alternés tels que PPLN ou PPKTP. Cette stratégie n'est hélas pas pertinente dans le cas de la TPG car le retournement des domaines ferroélectriques ne permet pas l'inversion du signe du coefficient non linéaire du troisième ordre, ce qui interdit le quasi-accord de phase pour la TPG. Nous nous sommes alors tournés vers l'accord de phase par biréfringence, avec comme cahier des charges une longueur de pompe standard à 532 nm et une émission des triplets dans la bande télécom autour de 1600 nm, afin de bénéficier des systèmes de détections très efficaces à ces longueurs d'onde. Un premier générateur de triplets est basé sur un cristal massif de KTP en régime de bi-stimulation avec lequel il est possible de générer  $10^{13}$  triplets par impulsion de 15 ps, à partir de  $10^{15}$  photons de pompe et  $10^{14}$  photons d'injection [2]. Notre objectif actuel est la TPG spontanée pour laquelle le milieu massif ne permet pas un confinement électromagnétique suffisant. Nous avons alors développé une technologie basée sur un cristal de KTP usiné en guide d'onde arête à saut d'indice comme le montre la Fig. 1a [3]. Outre le fort confinement, ces guides offrent la possibilité d'accorder les longueurs d'onde d'émission en fonction de la dimension transverse du guide, comme indiqué Fig. 1b [4].

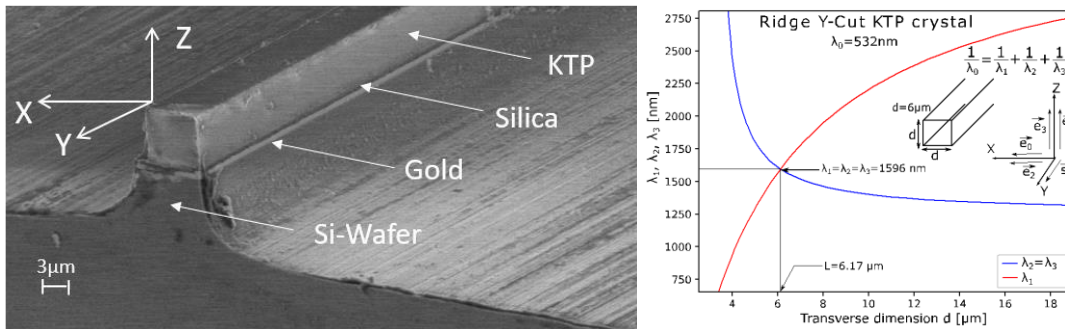


Fig.1 : (a) guide d'onde en arête taillé par poli-sciage dans un cristal de KTP pour la TPG ; (b) accordabilité en longueur d'onde de la TPG en fonction de la dimension transverse du guide de KTP pompé à 532 nm.

Le modèle quantique que nous avons développé indique qu'il devrait être possible de générer de l'ordre de 100 triplets par seconde dans un guide de 5 cm de long pompé avec 5W à 532 nm en régime continu [4]. Les expériences sont en cours.

Ces travaux sont menés dans le cadre de l'ANR PRCI France-Suisse TRIQUI (2018-2022).

## REFERENCES

- [1] E.A. Rojas Gonzalez, A. Borne, B. Boulanger, J.A. Levenson, K. Bencheikh, "Continuous variables triple-photon states quantum entanglement," *Physical Review Letters*, 120, 043601-1-5 (2018).
- [2] F. Gravier, B. Boulanger, "Triple photon generation: comparison between theory and experiment," *Journal of the Optical Society of America B*, 2008, 25(1), 98 – 102 (2008).
- [3] A. Vernay, V. Boutou, C. Félix, D. Jegouso, F. Bassignot, M. Chauvet, B. Boulanger, "Birefringence phase-matched direct third-harmonic generation in a ridge optical waveguide based on a  $\text{KTiOPO}_4$  single crystal," *Optics Express*, 29(14), 22266-22274 (2021).
- [4] K. Bencheikh, M. Cenni, E. Oudot, V. Boutou, C. Félix, A. Vernay, J. Bertrand, F. Bassignot, M. Chauvet, F. Bussi eres, H. Zbinden, A. Levenson, B. Boulanger, "Demonstrating quantum features of  $\chi^{(3)}$  processes," en preparation.