

HOLOGRAPHIE QUANTIQUE AVEC DES BIPHOTONS INTRIQUES DE GRANDE DIMENSIONNALITE SPATIALE

Fabrice Devaux, Alexis Mosset, Florent Bassignot, Eric Lantz

Institut FEMTO-ST, Département d'Optique P. M. Duffieux UMR 6174 CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, 15b Avenue des Montboucons, 25030 Besançon – France

fabrice.devaux@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons les résultats expérimentaux de la restitution d'un hologramme de phase par la mesure de corrélations quantiques spatiales entre des paires de photons intriqués (biphotons) avec une dimensionnalité spatiale d'environ 1800. Ces biphotons, générés par émission paramétrique spontanée dans un cristal non linéaire, sont transmis à travers un hologramme de phase. Les photons jumeaux sont ensuite détectés en champ lointain séparément sur 2 caméras EMCCD. La restitution de l'information contenue dans l'hologramme de phase est finalement obtenue en mesurant la répartition des coïncidences spatiales d'origine quantique entre les images jumelles.

MOTS-CLEFS : *photons intriqués ; corrélations quantiques spatiales ; holographie ; EMCCD*

1. INTRODUCTION

Les sources de photons spatialement intriqués, ou biphotons, de grande dimensionnalité font l'objet de multiples études et d'applications en information quantique basées sur la mesure des coïncidences spatiales entre photons jumeaux [1]. Parmi ces nombreux travaux, la mesure de coïncidences spatiales en champ proche (position) et en champ lointain (impulsion) [2] a permis notamment de mettre en évidence le paradoxe de type EPR (Einstein-Podolski-Rosen) tel qu'il fut énoncé originalement. En exploitant le protocole expérimental que nous avons développé pour réaliser ces expériences et en nous inspirant des travaux de W.H. Peeters et al. [3] et de B. E. A. Saleh et al. [4], nous présentons nos résultats d'holographie quantique à 2 photons.

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL ET RESULTATS

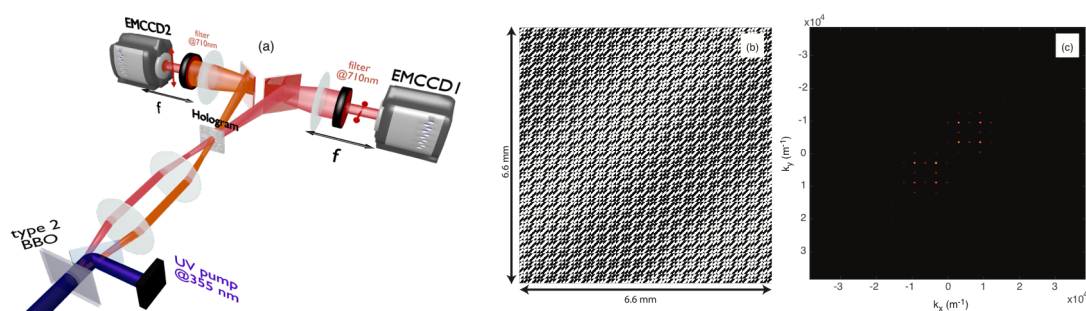


Fig. 1 : (a) Montage expérimental. (b) Hologramme de phase binaire. (c) Simulation de l'hologramme restitué en champ lointain et en éclairage cohérent.

La figure 1a illustre le montage expérimental original développé pour ces expériences. Les paires de photons jumeaux à 710 nm et de polarisations croisées, sont générées par SPDC dans un cristal non linéaire taillé pour un accord de phase de type 2 [2]. Une dimensionnalité spatiale des biphotons (i.e. nombre de Schmidt) de 1790 a été déduite au préalable de la mesure des dimensions

du pic de corrélation entre les images jumelles en l'absence de l'hologramme [2] (Fig. 2a). Le champ proche du cristal est ensuite imagé au moyen d'un système afocal sur un hologramme de phase binaire gravé sur une lame de verre (Fig. 1b). Les photons signal et idler transmis par l'hologramme sont ensuite naturellement séparés par propagation dans l'espace libre grâce au walk-off. Ils sont ensuite

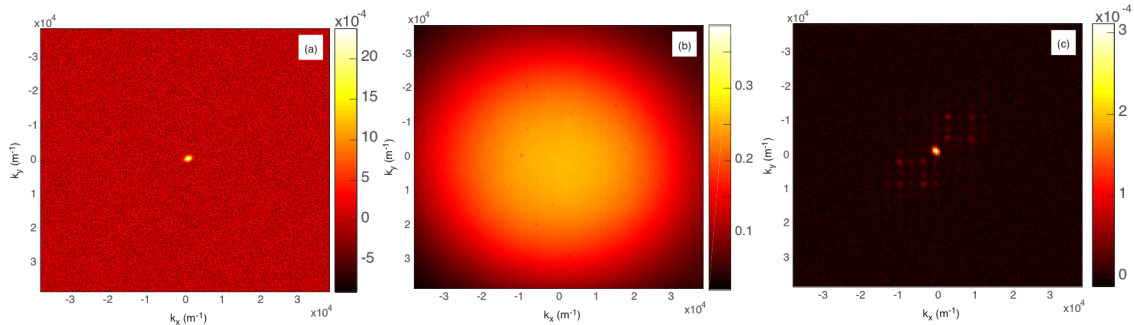


Figure 2 : (a) Pic d'intercorrélacion en champ lointain en l'absence d'hologramme. (b) Moyenne des images en champ lointain des photons signal. (c) Moyenne des figures d'intercorrélacions en champ lointain entre les images jumelles signal-idler.

détectés et résolus spatialement en champ lointain au moyen de 2 caméras EMCCD utilisées en régime de comptage de photon [2]. La Fig. 1c présente la simulation numérique de la restitution de l'hologramme de phase en éclairage cohérent. L'hologramme de phase a été conçu pour que les dimensions de la fenêtre de l'hologramme restitué correspondent exactement aux dimensions du capteur des caméras EMCCD et que le rendement de diffraction soit optimal à 710 nm.

La Fig. 2b correspond à la moyenne d'un grand nombre d'images acquises avec une seule des 2 caméras. Elle illustre la répartition moyenne des photons signal ou idler en champ lointain. Une image similaire est obtenue sur l'autre caméra. On reconnaît le profil spatial typique en champ lointain imposé par la condition d'accord de phase de l'interaction paramétrique et on constate également le faible niveau moyen de photon par pixel lié au régime de comptage de photons de notre protocole expérimental [2]. Nous pouvons également constater sur cette image que la détection uniquement des photons signal ou idler ne permet pas la restitution de l'hologramme. A contrario, la mesure des coïncidences spatiales d'origine quantique entre les photons signal et idler dans 40000 paires d'images jumelles, permet la restitution de l'hologramme (Fig. 2c). La répartition spatiale des coïncidences est conforme à la restitution simulée de l'hologramme (Fig. 1c).

CONCLUSION

Nous présentons des résultats expérimentaux d'holographie quantique où la restitution d'un hologramme de phase est obtenue en mesurant les corrélacions spatiales quantiques en champ lointain entre des paires de photons intriqués de très grande dimensionnalité spatiale transmises par cet hologramme.

Ce travail a été en partie soutenu par le programme français « Investissements d'Avenir », projet ISITE-BFC (contrat ANR-15-IDEX-03) et le réseau RENATECH et son installation technologique FEMTO-ST MIMENTO.

RÉFÉRENCES

- [1] D.S. Simon, G. Jaeger, A. Sergienko. *Quantum metrology, imaging, and communication*. Springer, 2017.
- [2] P.A. Moreau et al., *Einstein-Podolsky Rosen Paradox in twin images*, PRL **113**, 160401 (2014)
- [3] W.H. Peeters et al., *Observation of wo-photons speckle patterns*, PRL **104**, 173601 (2010)
- [4] B. E. A. Saleh et al., *Duality between partial coherence and partial entanglement*, PRA **62**, 043816 (2000)