



Jean-Marcel Nazon

Master Ondes, Atomes, Matière

Encadrants : Olivier Alibart¹, Jesús Zúñiga-Pérez²

¹Institut de physique de Nice INPHYNI, ²Centre de recherche sur l'hétéro-épitaxie et ses applications - CRHEA



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

Résumé

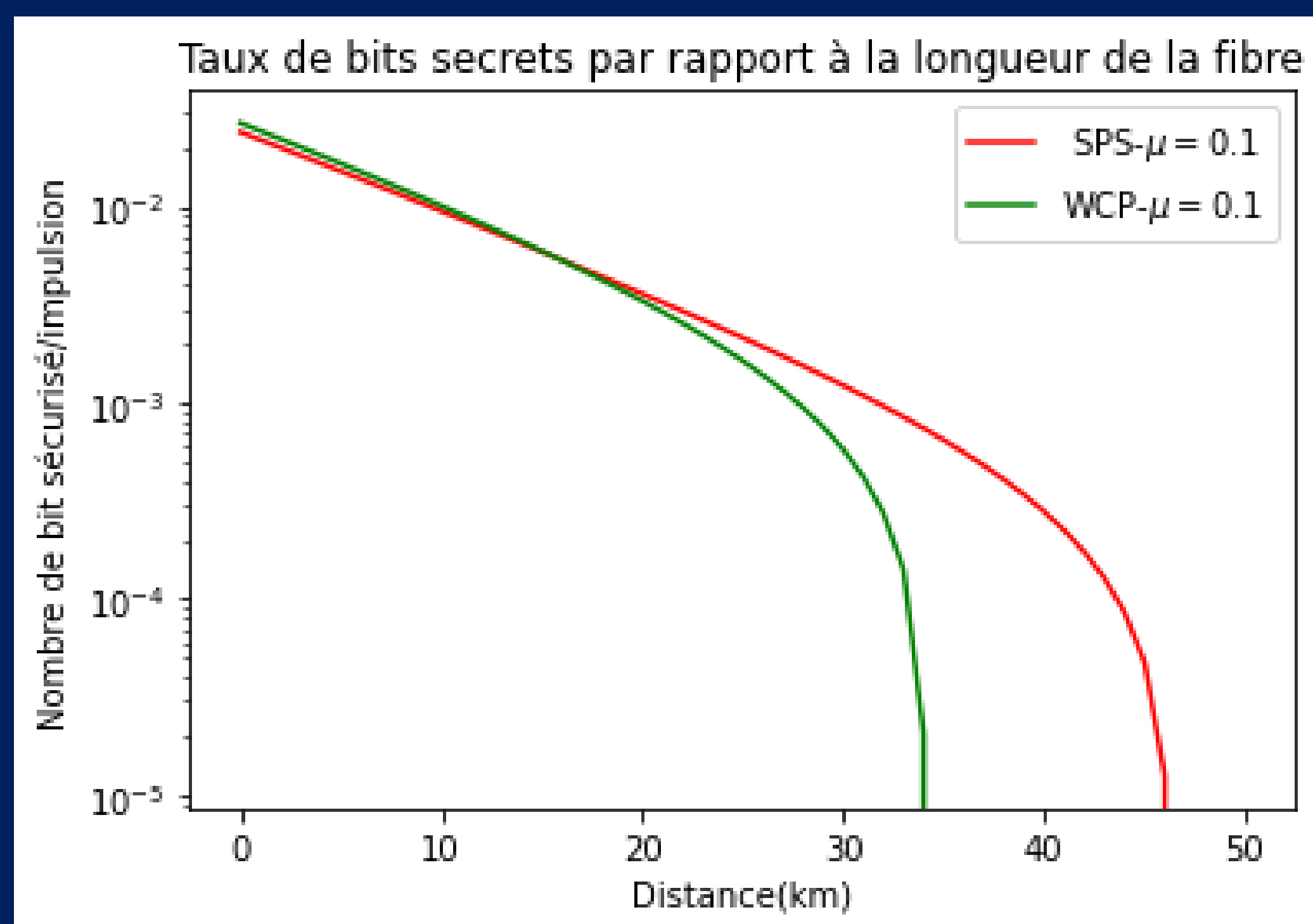
Le futur internet quantique requiert de multiples dispositifs capables d'émettre, de manipuler, de stocker ou de mesurer des états quantiques. Dans le cas des communications quantiques longues distances, c'est naturellement le photon qui s'avère être le porteur idéal. Les besoins technologiques sont : des émetteurs de photons uniques, des émetteurs de paires de photons intriqués mais également des mémoires capables de stocker temporairement un état quantique. Cette étude s'inscrit dans le cadre du développement expérimental d'une source de photons uniques à base de défauts dans le GaN, un semi-conducteur fonctionnant à température ambiante maîtrisé par le CRHEA. C'est un projet exploratoire dans lequel nous étudions les propriétés élémentaires telles que le taux d'extraction de photons uniques et leur pureté.

I - Nécessité d'utiliser des photons uniques

- Distribution de clé quantique (QKD), i.e. un échange de clés secrètes. La sécurité dépend du type de source que l'on utilise.
- Comparaison des performances (distance, taux de clé) de deux types de sources : les lasers atténués (WCP) et source de photons uniques (SPS).
Un WCP a une plus grande probabilité d'émettre deux photons à la fois (voir formule ci-dessous), c'est une faille pour un espion qui dispose d'une copie de l'état quantique.

$$G^{(WCP)} = \frac{1}{2} p_{exp} \left(1 - \frac{P_m^{(WCP)}}{p_{exp}} \right) = \frac{1}{2} ((1+\mu) e^{-\mu} - e^{-\eta\tau\eta\tau\mu})$$

$$G^{(SPS)} = \frac{1}{2} p_{exp} \left(1 - \frac{P_m^{(SPS)}}{p_{exp}} \right) = \frac{1}{2} ((1+\mu) g^2(0) e^{-\mu} - e^{-\eta\tau\eta\tau\mu}), g^2(0) = 10^{-2} \quad [1]$$

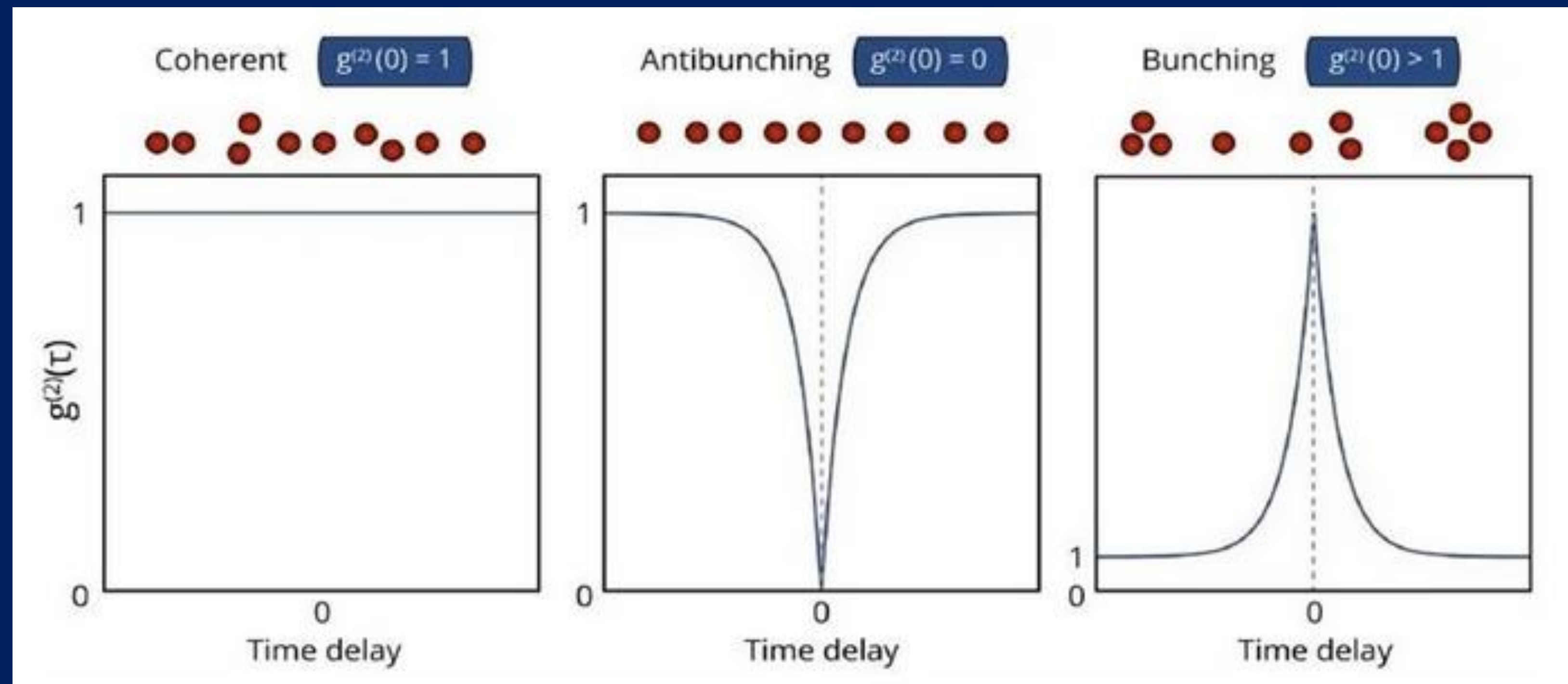


- La distance limite atteignable est due au bruit du détecteur et à la statistique la source utilisée.

II - Statistique de photons

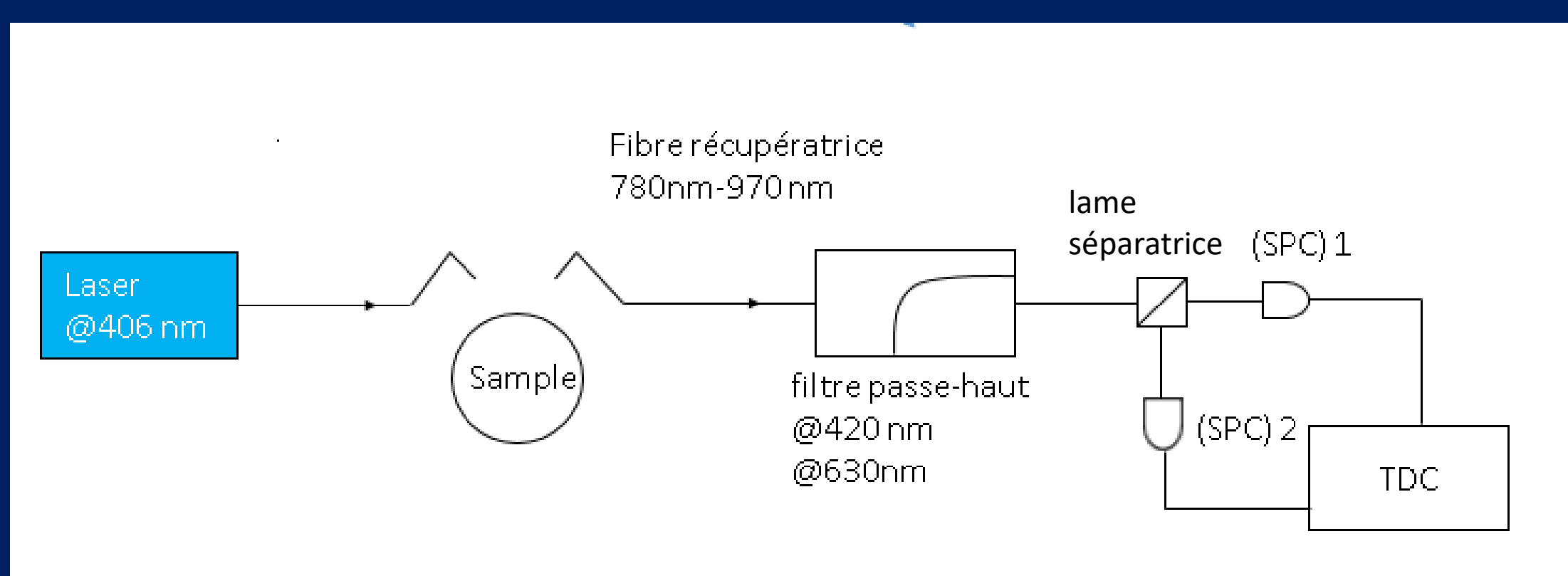
Description classique	Distribution de Poisson	$\Delta n = \sqrt{n}$	Laser, WCP ...
	Distribution de Bose	$\Delta n > \sqrt{n}$	Lampe à décharge ...
Description quantique	Distribution sub-Poissonienne	$\Delta n < \sqrt{n}$	SPS

- Fonction d'autocorrélation d'ordre 2 : $g^{(2)}(0)$. Statistique de photons pour différentes sources: sources cohérente, anticoalescence (antibunching) et coalescence (bunching). [2]



- Si on obtient, un $g^{(2)}(0)$ proche de 0 alors on a une excellente SPS. Cette valeur caractérise la pureté de la source.
- Pour la QKD, $g^{(2)}(0)$ représente la réduction de la probabilité d'émettre une paire de photons par rapport à un WCP équivalent.

III - Montage expérimental : Hanbury Brown Twiss (HBT)



- Montage expérimental simplifié. Expérience de HBT

$$g^2(0) = \frac{\langle \hat{n}_1(t) \hat{n}_2(t + \tau) \rangle_t}{\langle \hat{n}_1(t) \rangle_t \langle \hat{n}_2(t + \tau) \rangle_t} \propto \frac{R_c(\tau)}{S_1 S_2}$$

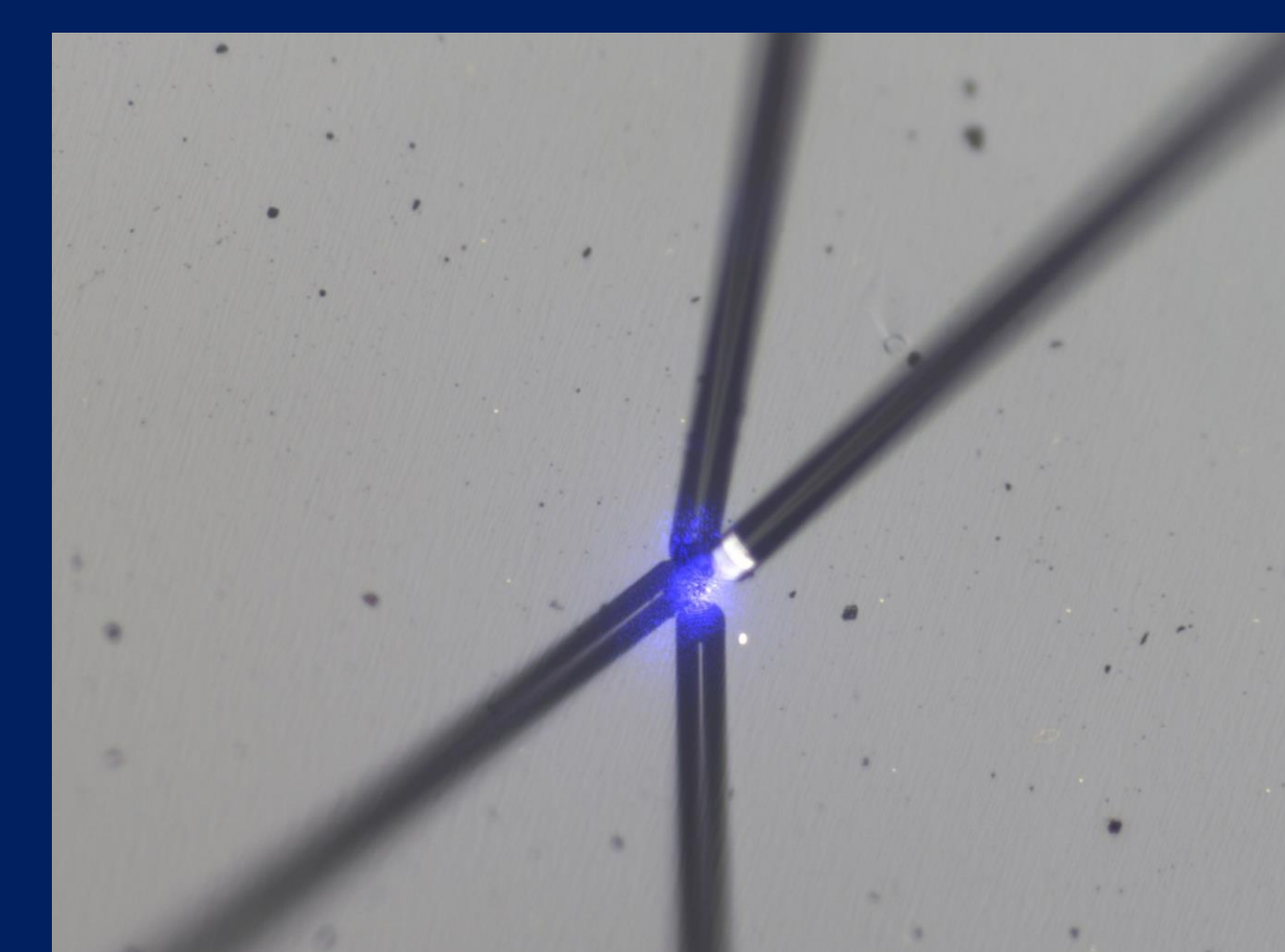
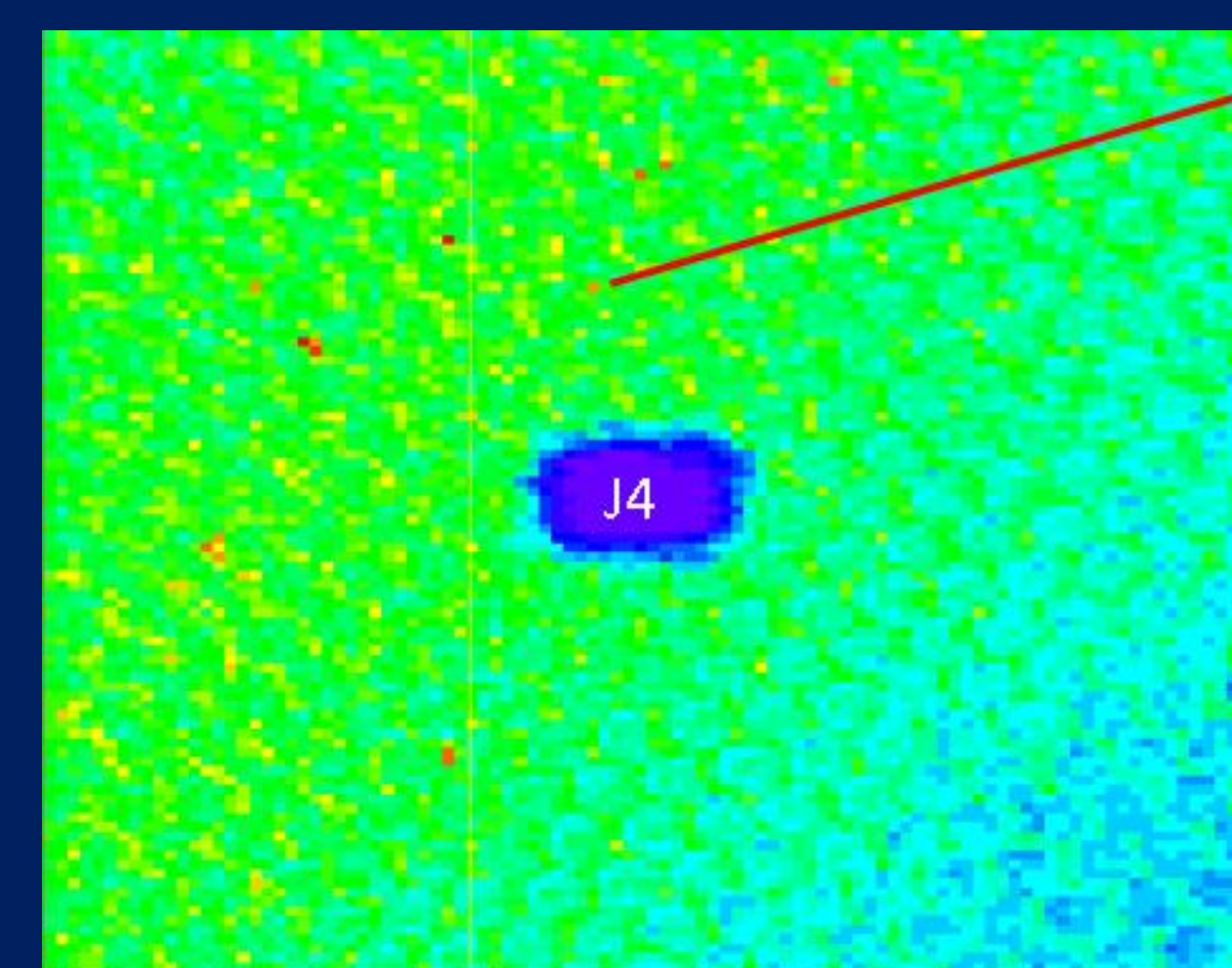
- $g^2(0)$ se mesure expérimentalement comme le rapport entre le nombre de coïncidence évalué (R_c) sur le nombre moyen de photons détectés par les détecteurs, S_1 et S_2
- Si $g^2(0) < 0,5$. On considère notre source comme non classique.

- $R_c(\tau)$: Taux de coïncidence entre le détecteur 1 (SPC) 1 et le détecteur (SPC) 2

- (SPC)1 Nombre de détections sur le détecteur 1

- (SPC)2: Nombre de détections sur le détecteur 2

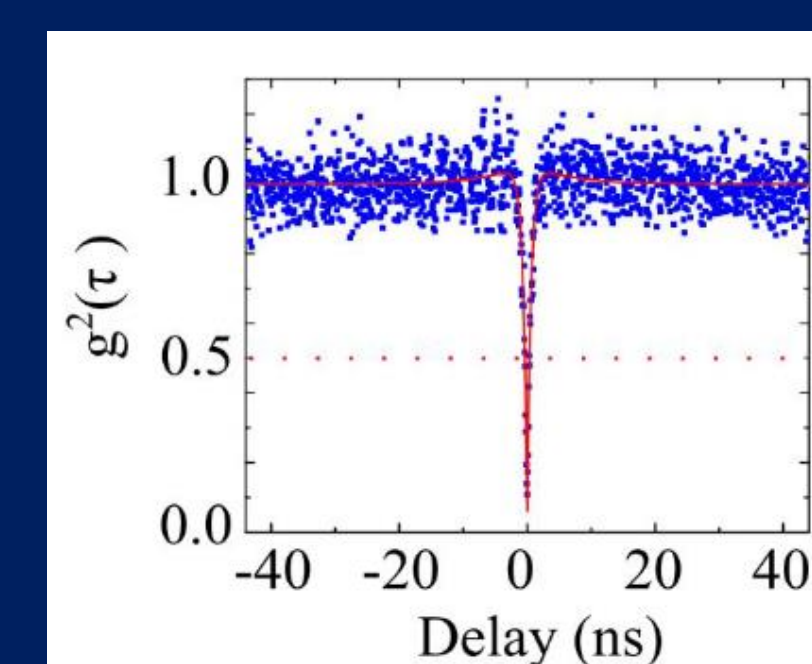
IV - Echantillon de GaN



- CRHEA a construit un échantillon de $5\mu\text{m}$ d'épaisseur de GaN sur un substrat de saphir.
- GaN émet entre 700 - 1300 nm.
- GaN fonctionne à température ambiante.
- Cette échantillon comporte plusieurs SPS (ici indiqué par un point rouge).
- SPS est un défaut dans la maille cristalline du GaN.
- Couplage entre une fibre excitatrice avec un laser de pompe à 406 nm à 100mW et une fibre récupératrice.
- On sait faire des guides pour récupérer les photons.

V - Perspectives

- Utilisation des fibres micro lentillées pour améliorer :
-l'excitation (taille du spot réduite)
-récupération (focalisation de l'émission de photon unique vers la fibre récupératrice)
- Continuer les mesures de HBT, pour déterminer la pureté de la source.



Exemple d'une mesure de $g^2(0)$ pour un échantillon de GaN , $g^2(0) = 0,05 \pm 0,02$ [3]

Références

- [1] Lutkenhaus, N., 2000, Physical Review A 61, 052304
- [2] AZNano, 2018, Applications of Cathodoluminescence $g^2(0)$
- [3] Zhou, Y., Z. Wang, A. Rasmita, S. Kim, A. Berhane, Z. Bodrog, G. Adamo, A. Gali, I. Aharonovich, and W.-b. Gao, 2017, New Journal of Physics 4, 3