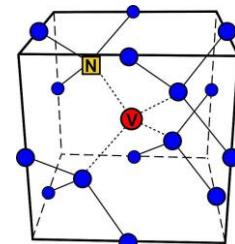


Source de photons uniques



Maille cristalline du diamant
Source : Wikipédia

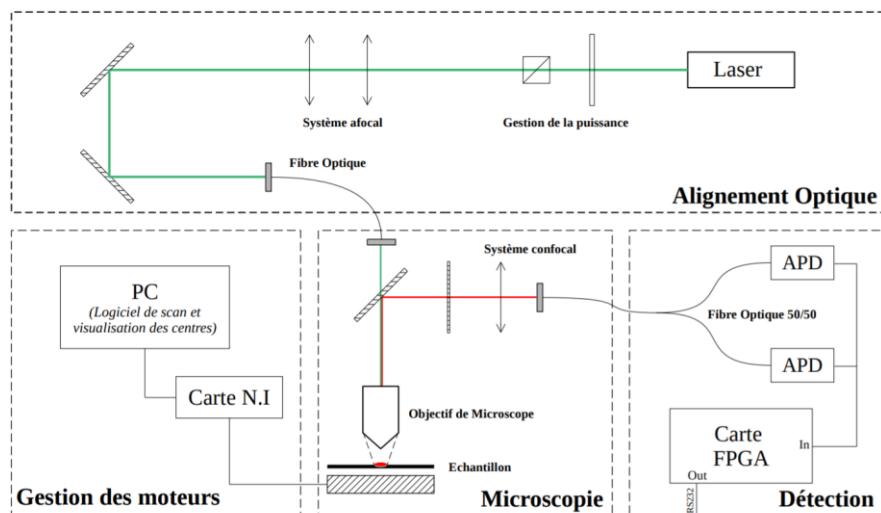
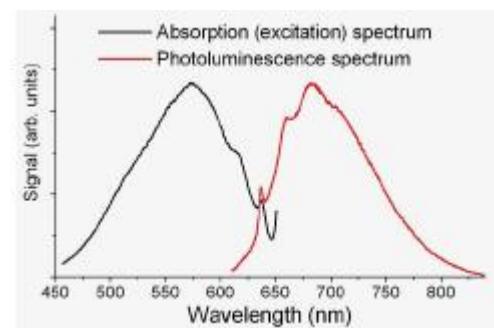


Schéma du montage

Principe physique :

Les **centres Nitrogen-Vacancy** (dits NV) sont des impuretés incrustées dans la maille cristalline du diamant, possédant des propriétés physiques et photo-luminescentes intéressantes. Ils absorbent sur une large bande centrée à 550nm (vert) et émettent un spectre de fluorescence autour de 700nm (rouge) disjoint. L'objectif de cette manipulation est de produire, en excitant un unique centre NV à l'aide d'un laser de pompage vert, un **train de photon unique** qu'on observera grâce au montage interférométrique de Hanbury Brown et Twiss.



Spectres des centres NV
Source : Wikipédia

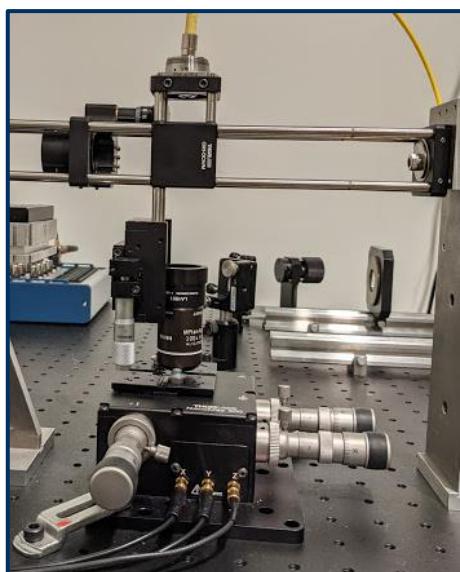
Le montage de la manipulation se décompose donc en quatre grandes parties liées à l'alignement optique, à la microscopie, à la détection et à la gestion des moteurs.

Optique

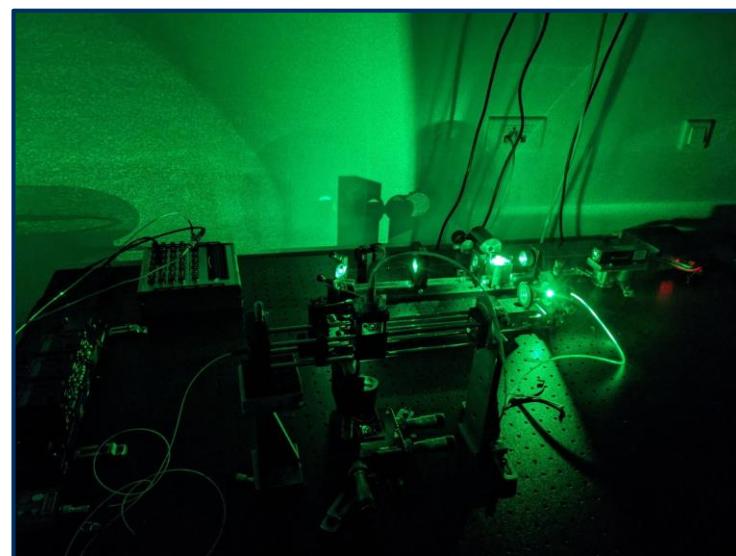
Alignement et gestion de puissance

Le faisceau issu du laser doit exciter un unique centre NV. Il est donc préalablement polarisé puis réglé en puissance à l'aide d'un cube de polarisation. Pour protéger les photodiodes à avalanche (APD), on peut également utiliser des densités qui limiteront la puissance du faisceau. Une lunette afocale permet ensuite de régler la largeur du faisceau dans la fibre de façon à coupler au mieux ce dernier avec la fibre puis avec le système de microscopie.

Microscopie



Microscope confocal et platine



Montage expérimental

Une fois la puissance incidente réglée, nous pouvons diriger le faisceau vert de pompe sur l'échantillon. L'objectif étant d'exciter un unique centre NV, on comprend qu'il faut focaliser la pompe sur la surface la plus petite possible (correspondant à la surface de scan). Pour ce faire, nous utilisons un objectif de microscope de grande qualité ainsi qu'un système de microscopie confocale, la surface de scan a un diamètre de l'ordre de 900 nm. Finalement, un miroir dichroïque réfléchissant le rouge et transmettant le vert permet de récupérer les photons issus de la fluorescence. Notons que le système de microscopie confocal permet également de filtrer les photons parasites provenant de l'environnement.

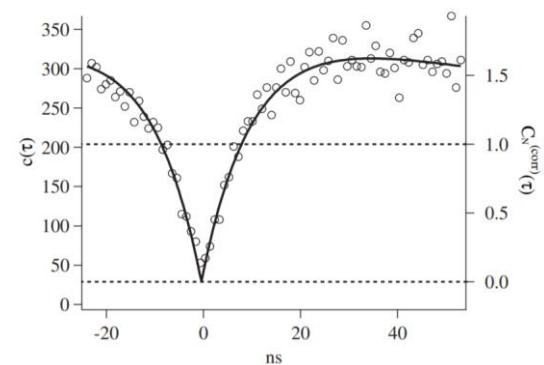
Source de photons uniques

Détection

Interférométrie de Hanbury Brown et Twiss

Démontrer qu'un train de photon est bien unique peut se faire en traçant la courbe d'autocorrelation $g^{(2)}(\tau)$ du signal issu du train, l'allure de cette courbe nous permet de conclure quant à la nature du train de photons. Une telle courbe peut se tracer grâce au montage interférométrique de Hanbury Brown et Twiss. Si on note $\mathcal{N}(\tau)$ le nombre de photons détectés à l'instant τ , la fonction d'autocorrelation $g^{(2)}(\tau)$ s'exprime :

$$g^{(2)}(\tau) = \frac{\langle \hat{N}(t)\hat{N}(t+\tau) \rangle_t}{\langle \hat{N}(t) \rangle_t^2}$$

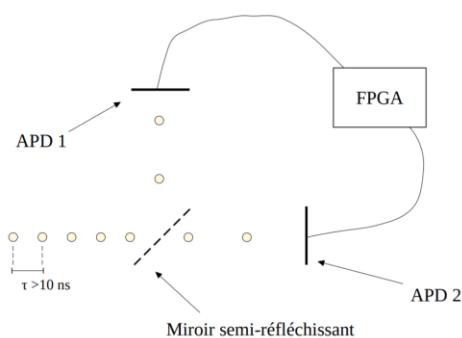


Courbe de $g^{(2)}$

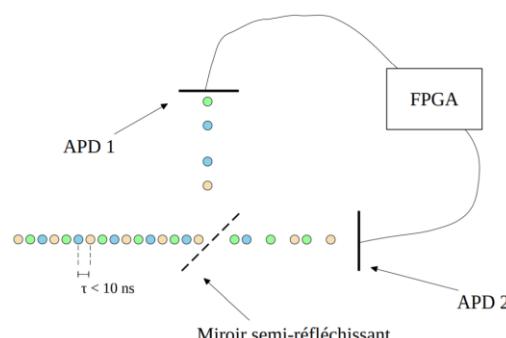
Source : Dispositifs pour la cryptographie quantique - Rosa Tualle-Broui

Probabilité de détection et montage

Cette courbe peut s'interpréter comme la probabilité de détection d'un photon à l'instant $t=\tau$ sachant qu'un premier photon a été détecté à l'instant $\tau=0$. Un critère simple permettant de conclure sur l'unicité d'un train de photons est de vérifier que $\lim_{\tau \rightarrow 0} g^{(2)}(\tau) = 0$. En effet si un unique centre NV émet un photon à un instant $t=0$, il est peu probable que celui-ci en émette un nouveau à l'instant suivant : l'état excité du centre ayant un temps de vie de l'ordre de la dizaine de nano-secondes.



Cas d'un train de photons uniques

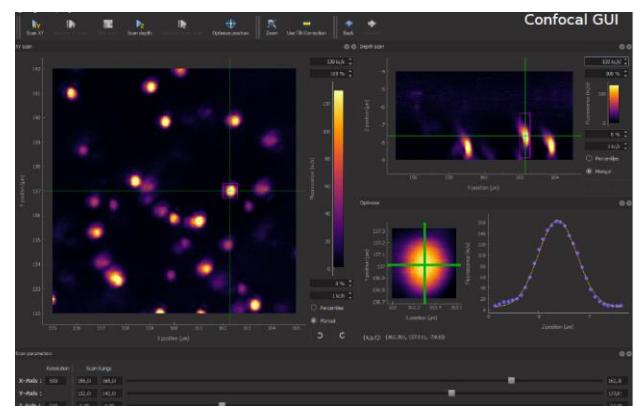


Cas d'un train de photons non uniques

Un moyen simple de construire expérimentalement une telle courbe est donc de tracer l'histogramme des temps séparant deux photons. C'est à dire qu'il suffit de compter le temps τ séparant deux photons et d'ajouter une unité à l'abscisse τ de l'histogramme. Pour ce faire nous utiliserons une fibre 50/50 de façon à séparer le train de photons sur deux photodiodes à avalanches, celles-ci envoient un pulse de tension dès qu'un photon est détecté. Finalement une carte FPGA permet de mesurer le temps séparant deux pulses (ie deux photons) avec une résolution de l'ordre de quelques nano-secondes.

Gestion des moteurs

Pour pouvoir atteindre et visualiser n'importe quel point de l'échantillon, on déplace la platine selon les trois directions de l'espace manuellement, à l'aide de vis macro et micrométriques, ou de manière motorisé. Pour ce faire, nous avons choisi des moteurs pas à pas contrôlés par un logiciel à l'aide d'une carte National Instrument. Le logiciel choisi, Qudi, nous permet d'effectuer des scans selon deux directions choisies, de les afficher à l'écran et également de visualiser le nombre de photons qui arrivent sur les APDs par point de l'échantillon.



Interface de scan du logiciel Qudi
Source : article de Jan M. Bider et Alexander Stark

Etat actuel de l'expérience

Même si nous n'avons pas encore pu visualiser des centres de photons uniques, le montage actuel nous permet d'ores et déjà de visualiser la fluorescence du diamant et également des échantillons d'étude tel qu'une grille d'or. Pour voir le montage, des vidéos d'expérience et obtenir plus d'informations, regardez notre vidéo !

