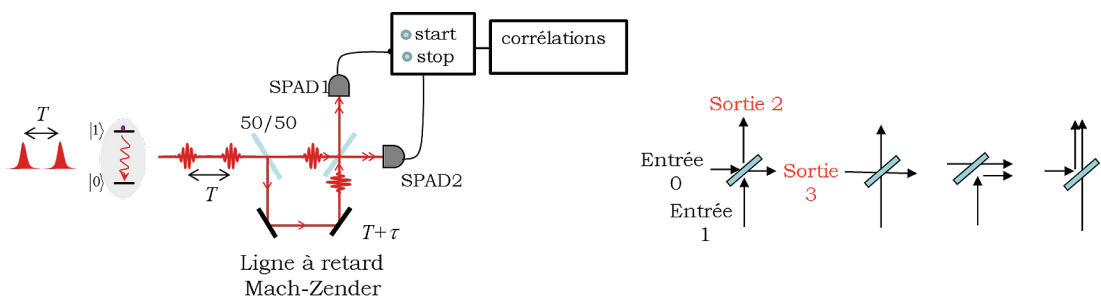


## Une source de photons uniques et indiscernables

**Les nano-émetteurs solides ont démontré ces dernières années un fort potentiel pour des applications en nanophotonique et dans le domaine de l'information quantique. Les boîtes quantiques à base de matériaux semiconducteurs sont actuellement utilisées comme sources de photons uniques à la demande atteignant une très forte efficacité d'extraction, lorsqu'elles sont insérées dans des cavités photoniques appropriées. Cependant, le degré d'indiscernabilité des photons, paramètre crucial pour l'intrication, n'atteint pas 100%, limité par les processus de décohérence liés aux interactions de la boîte avec son environnement. Grâce à une expérience d'interférences à deux photons, des chercheurs de l'équipe « Nanostructures et systèmes quantiques » de l'INSPI ont pu mesurer le degré d'indiscernabilité des photons émis par ce type de source. Il peut atteindre 80% dans les cas les plus favorables.**

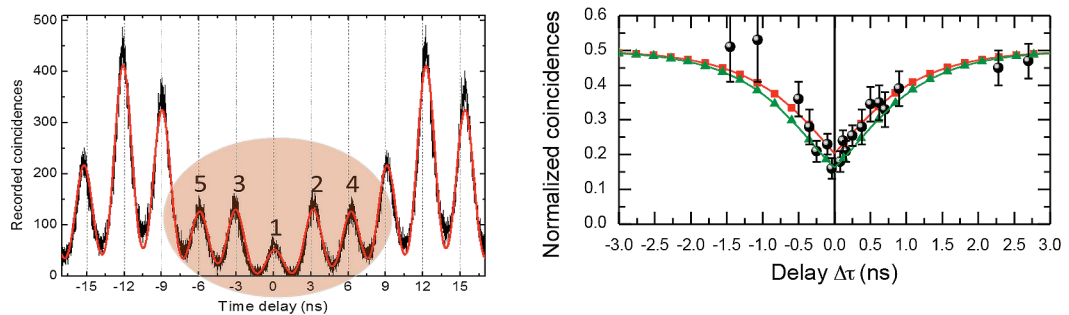
Une BQ est un émetteur produisant des photons émis un par un, séparés temporellement par une durée de l'ordre du temps de vie radiatif. A priori ces photons sont indiscernables, c'est-à-dire identiques à tout point de vue (même mode spatial, même mode temporel, même fréquence et polarisation). Une très belle démonstration de cette propriété fondamentale, s'obtient lors d'une expérience d'interférences à deux photons sur une lame séparatrice. Lorsque deux photons se dirigent simultanément sur les deux faces de la lame, ils la quittent ensemble du même côté, alors que quatre possibilités existent en principe (**Figure 1**, schéma de droite). Ce phénomène appelé *coalescence* est profondément lié à la nature quantique des photons qui sont des bosons. La mesure est faite en plaçant un photodétecteur de chaque côté de la lame et en enregistrant les histogrammes des temps d'arrivée des photons sur chaque détecteur. En faisant les corrélations entre tous les événements enregistrés en fonction du délai entre photodétections croisées, on voit qu'à délai nul il n'existe aucune coïncidence, c'est-à-dire aucune détection simultanée de photon sur les deux détecteurs. Lorsque l'on fait varier l'intervalle entre les temps d'arrivée des deux photons sur la lame, les paquets d'onde associés aux photons se recouvrent moins bien, réduisant ainsi leur degré d'indiscernabilité et conduisant donc à une augmentation du nombre de coïncidences.



**Figure 1**

Schémas de principe d'une expérience d'interférences à deux photons. Gauche : schéma expérimental. Les interférences se font sur la deuxième lame. Droite : Configurations possibles lorsque deux photons arrivent de part et d'autre d'une lame 50/50. Lorsque les photons sont indiscernables, la mécanique quantique prédit qu'ils sortent ensemble du même côté, c'est les deux derniers cas de figure.

L'originalité du travail présenté ici, réside dans l'excitation résonnante du système à deux niveaux que constitue la boîte quantique (BQ). Ce couplage lumière–matière résonnant permet de préserver la cohérence du système (caractérisé par le temps de cohérence  $T_2$ ) et augmenter le taux d'émission spontanée (défini par le temps de vie radiatif  $T_1$ ) favorisant ainsi l'indiscernabilité des photons émis par la boîte. L'expérience de coalescence a été réalisée à l'aide de deux impulsions laser picosecondes séparées de 3 ns (avec un taux de répétition de 12 ns). Chaque impulsion crée une paire électron-trou dans la boîte, qui en se recombinant émet un photon. Pour compenser le retard entre les deux photons et les faire arriver simultanément sur une lame, on utilise un interféromètre de Mach-Zehnder (Figure 1, schéma de gauche). Le résultat de l'expérience pour un délai nul est présenté sur la **figure 2** (gauche). Les pics notés de 1 à 5 (zone colorée sur la figure) correspondent aux coïncidences engendrées par une séquence d'impulsions séparées de 3 ns. Ce qui nous intéresse, c'est la valeur de la fonction de corrélation à délai nul,  $g^{(2)}(\Delta\tau=0)$ , définissant la probabilité conditionnelle que deux photons sortent séparément sachant qu'ils sont arrivés simultanément sur la lame. En effet, on montre que  $g^{(2)}(\Delta\tau=0)$  vaut 0 pour des photons indiscernables, alors que pour des photons discernables elle vaut 0.5. La courbe complète de  $g^{(2)}(\Delta\tau)$  obtenue en faisant varier le retard  $\Delta\tau$  entre les temps d'arrivée des photons sur la lame est présentée sur la figure 2 (droite). L'expression théorique de  $g^{(2)}$  dépend des temps caractéristiques ( $T_1$  et  $T_2$ ) ainsi que des coefficients de réflexion et transmission de la lame, qui n'est pas forcément 50/50. On obtient ainsi une valeur directe du degré d'indiscernabilité  $T_2/2T_1$  de l'ordre de 80%. La perte d'indiscernabilité est liée aux interactions avec l'environnement solide de la boîte (fluctuations électrostatiques dues à des charges, couplage aux phonons) qui limitent le temps de cohérence. En contrôlant ces processus de manière systématique, il est possible d'obtenir une source de photons uniques à la demande, efficace et indiscernable, étape nécessaire pour réaliser des états intriqués.



**Figure 2**

(a) Histogramme des coïncidences (en noir) pour  $\Delta\tau=0$ . La courbe en rouge correspond à un ajustement multigaussien de l'histogramme enregistré.  
 (b) Histogramme des coïncidences (points noirs) en fonction du délai entre les temps d'arrivée des photons. Les courbes pleines correspondent à des simulations de la fonction de corrélation pour les valeurs extrêmes de  $T_1$  et  $T_2$  mesurées indépendamment.

## Référence

"Indistinguishable single photons generated by a quantum dot under resonant excitation observable without postselection"

L. Monniello, A. Reigue, R. Hosten, A. Lemaitre, A. Martinez, R. Grousseau, and V. Voliotis  
*Physical Review B*, 90, 041303(R) (2014)

## Contact

valia.voliotis@insp.jussieu.fr