

## Interférence quantique dans le temps

---

**Les bosons – dont en particulier les photons – ont une propension naturelle à se rassembler. En 1987, trois physiciens ont démontré ce caractère grégaire via une expérience remarquable : c'est l'effet Hong-Ou-Mandel. Récemment, des chercheurs de l'ULB (Centre for Quantum Information and Communication) ont découvert une autre manifestation de cette tendance grégaire des photons. La recherche vient d'être publiée dans PNAS.**

On sait depuis les débuts de la physique quantique, il y a un siècle, que toutes les particules de l'Univers se répartissent entre fermions et bosons. Par exemple, les protons qui composent les noyaux atomiques sont des fermions, alors que l'on trouve parmi les bosons notamment le photon, sorte de « grain de lumière », ou encore le célèbre boson de Brout-Englert-Higgs qui a valu le Prix Nobel de Physique au Professeur François Englert de notre université en 2013.

Les bosons – dont en particulier les photons – ont une propension naturelle à se rassembler. L'une des expériences les plus remarquables ayant démontré ce caractère « grégaire » des photons date de 1987, quand trois physiciens ont mis en évidence un effet qui porte maintenant leur nom : l'effet Hong-Ou-Mandel. Si deux photons sont envoyés simultanément chacun sur l'une des deux faces d'une lame semi-réfléchissante, sorte de miroir sans tain, on s'attend à ce que chacun des deux photons puisse être soit réfléchi, soit transmis à travers la lame. Logiquement, on devrait donc parfois détecter un photon de chaque côté de la lame, résultant du cas où les deux photons ont été réfléchis ou bien alors du cas où il ont été transmis tous les deux et se sont croisés dans la lame. En réalité, l'expérience montre au contraire que cette double détection n'est jamais observée : tout se passe comme si les deux photons « préféraient » se regrouper et on les détecte toujours ensemble, tous les deux du même côté de la lame !

Dans un article paru récemment dans la revue américaine Proceedings of the National Academy of Sciences, Nicolas Cerf, professeur au Centre for Quantum Information and Communication (Ecole Polytechnique de Bruxelles) et son ancien doctorant Michael Jabbour, chercheur postdoctoral à l'Université de Cambridge, ont découvert une autre manifestation de cette tendance grégaire des photons. Au lieu d'une lame semi-réfléchissante, les chercheurs ont considéré un amplificateur optique, appelé composant actif car il produit des nouveaux photons. Ils ont pu démontrer qu'il existait une situation analogue à l'effet Hong-Ou-Mandel mais qui reflète ici une nouvelle forme d'interférence quantique.

La physique quantique nous apprend que l'effet Hong-Ou-Mandel est la conséquence du phénomène d'interférence combiné au fait que les deux photons sont absolument identiques. Il est du coup impossible de distinguer la trajectoire où les deux photons auraient été réfléchis par la lame de celle où il auraient tous les deux été transmis ; les deux photons sont fondamentalement impossibles à reconnaître. Ceci a pour conséquence remarquable que les deux trajectoires s'annihilent ! On n'observe par conséquent jamais un photon de chaque côté de la lame. Cette propriété est insaisissable car si les photons étaient juste des petites billes

minuscules, pareilles en tous points, ces deux trajectoires pourraient parfaitement être observées. Comme c'est souvent le cas, la physique quantique se heurte ici à notre intuition classique.

Les chercheurs de l'ULB et de l'Université de Cambridge ont démontré que l'impossibilité de distinguer les photons émis dans un amplificateur optique induit un effet peut-être encore plus surprenant. L'interférence sur une lame semi-réfléchissante provient fondamentalement du fait que si l'on échange par la pensée les deux photons entre les deux côtés de la lame, la configuration qui en résulte est exactement identique. Par contre, avec un amplificateur optique, c'est un échange des photons non pas dans l'espace, mais dans le temps qu'il faut examiner pour comprendre l'effet mis en évidence par Cerf et Jabbour.

Quand deux photons sont envoyés dans un amplificateur optique, ils peuvent simplement le traverser sans être affectés. Mais un amplificateur optique peut aussi induire la création (ou la destruction) d'une paire de photons jumeaux, de sorte qu'une seconde possibilité est que les deux photons soient éliminés puis qu'une nouvelle paire de photons soient créée. En principe, ces deux possibilités pourraient être identifiées selon que les photons recueillis à la sortie de l'amplificateur optique soient les mêmes ou pas que ceux qui ont été envoyés. De fait, si l'on pouvait reconnaître les photons, ces trajectoires seraient distinctes et il n'y aurait pas d'effet quantique. Cependant, les chercheurs ont remarqué que l'impossibilité fondamentale de distinguer les photons dans le temps (c'est-à-dire l'impossibilité de savoir s'ils ont été remplacés ou pas dans l'amplificateur optique) entraîne une annulation complète de la possibilité même d'observer la paire de photons à la sortie. C'est donc bien un phénomène d'interférence quantique dans le temps qui a été identifié par les chercheurs. Il reste à espérer qu'une expérience viendra un jour confirmer cette prédiction fascinante !

DOI : [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2010827117](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2010827117)

Financement : Fonds de la Recherche Scientifique – FNRS (Projet de Recherche n° T.0224.18) et Fondation Wiener-Anspach pour les échanges académiques entre l'ULB et les Universités de Cambridge et d'Oxford.