

Maîtriser l'interaction entre atomes et lumière est l'une des clés pour les applications de la physique quantique. Depuis une vingtaine d'années, les chercheurs savent faire interagir un atome avec des photons « piégés » à l'intérieur d'une cavité formée de deux miroirs. Cela amplifie l'interaction entre l'atome et les photons et permet une meilleure compréhension des phénomènes quantiques, si bien que ces recherches représentent aujourd'hui un champ de recherche très actif, appelé électrodynamique quantique en cavité. Si les miroirs sont de bonne qualité, on peut réaliser des expériences spectaculaires, comme tout récemment le comptage un par un des photons dans la cavité. En principe, en multipliant le nombre d'atomes, on rend cette interaction encore plus forte, ce qui ouvre la voie à des technologies quantiques, où le photon transporte un « bit quantique » d'information et le transmet aux atomes qui prennent le rôle d'une « mémoire quantique ». Or, jusqu'à présent les expérimentateurs étaient gênés par leur manque de contrôle sur les positions et le mouvement des atomes, qui les empêchait de les rassembler tous à l'endroit où le champ lumineux est le plus intense. Cet obstacle vient d'être levé par des chercheurs du Laboratoire Kastler Brossel (LKB) grâce à la condensation de Bose-Einstein. Celle-ci est elle-même le sujet d'un champ de recherche de pointe, couronné par le prix Nobel en 2001. Dans un condensat, le nuage d'atomes est refroidi jusqu'à son état quantique fondamental, et sa taille est réduite à son minimum théorique. Dans l'expérience du LKB, cette taille est même inférieure à la longueur d'onde lumineuse, ce qui permet un contrôle encore jamais atteint de l'interaction entre les atomes et la lumière.

Avant ces résultats, à cause de la complexité expérimentale d'un tel système s'il est réalisé avec les techniques habituelles, il n'y avait pas d'expérience capable de piéger un nombre élevé d'atomes – condensés ou non – dans une cavité de bonne qualité. Ici, c'est l'association de la technique des « puces à atomes » et d'un nouveau type de cavité miniaturisée qui a rendu l'exploit possible. Cette cavité est constituée de deux miroirs déposés sur les extrémités de deux fibres optiques montées face à face. Les fibres sont modelées au préalable par un laser de puissance pour produire des surfaces concaves et extrêmement lisses. Ceci, ainsi que la petite taille de la cavité (39 micromètres), rend l'interaction des atomes avec les photons extrêmement forte, à tel point qu'un seul atome suffit pour scinder la résonance de la cavité en deux résonances bien séparées. Ce phénomène remarquable, bien connu des physiciens, indique qu'un même photon est absorbé et réémis plusieurs fois par l'atome. Mais l'expérience du LKB ne se contente pas d'un seul atome. Les chercheurs ont répété la mesure en accumulant de plus en plus d'atomes dans l'état condensé – jusqu'à plusieurs milliers – et observé la séparation croissante des résonances, qui a atteint des valeurs inédites.

Autre fait remarquable, tout ceci se déroule à 150 micromètres de la surface d'une puce, guère plus grande qu'un timbre-poste, sur laquelle circulent des courants électriques. Les champs magnétiques qu'ils produisent piègent les atomes et les transportent jusqu'à l'endroit voulu à l'intérieur de la cavité.

C'est donc grâce à un ensemble d'innovations technologiques que les chercheurs ont pu associer deux champs de recherche jusqu'ici séparés. Certaines applications sont déjà prévisibles, comme une source de photons individuels de très bonne qualité pour la communication quantique. Mais, avec un peu de chance, les plus belles applications seront celles qu'on n'aura pas prévues.

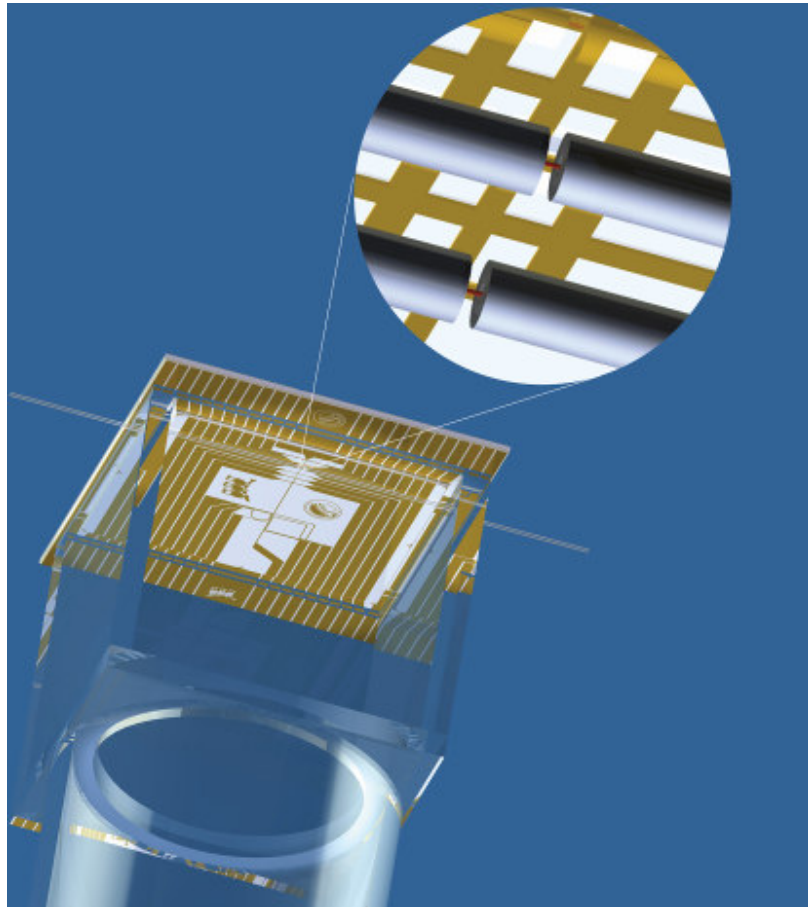


Figure 1 : La puce à atomes forme l'une des parois d'une petite enceinte à vide, dans laquelle on crée le condensat de Bose-Einstein. La cercle montre une vue partielle de deux paires de fibres optiques qui constituent deux cavités optiques (la deuxième cavité est prévue pour des applications futures). Dans l'expérience, la puce à atome permet de positionner le condensat dans la fente microscopique entre deux fibres, ou il interagit ensuite avec le champ lumineux extrêmement faible (moins d'un photon en moyenne) stocké dans la cavité.