

quement neutres caractérisées par un rayon et une masse particuliers.

Nous pouvons maintenant concevoir qu'en piégeant un photon et un exciton dans une même région, on crée entre eux une interaction permanente représentée par une quasi-particule, le polariton (voir l'encadré page ci-contre). Pour l'obtenir, il faut trouver le moyen de placer un ou plusieurs « puits quantiques », jouant le rôle de pièges à excitons, au sein d'une « cavité optique » faisant office de piège à photons.

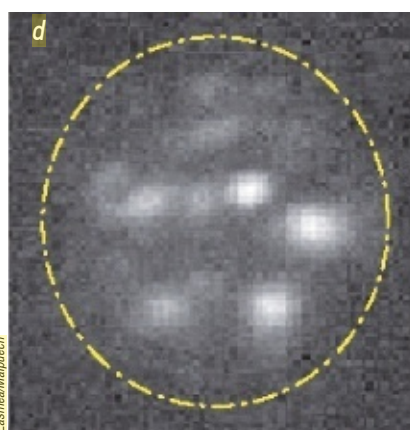
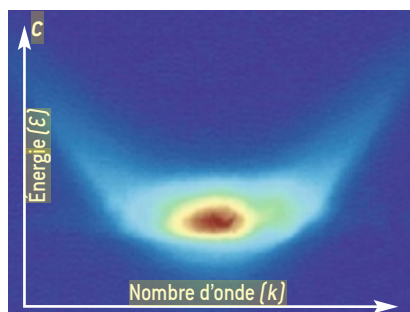
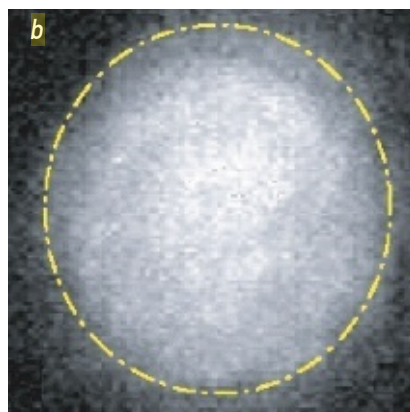
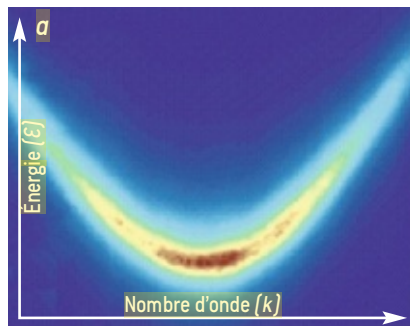
Cette cavité optique consiste en deux miroirs de Bragg se faisant face. Un miroir de Bragg est une succession de couches planes et transparentes d'indices de réfraction différents. Une telle structure réfléchit presque toute la lumière incidente, pour une longueur d'onde appropriée. Les déphasages entre les ondes réfléchies à chaque interface dépendent en effet de la longueur d'onde lumineuse et de la distance entre plans, et ces déphasages doivent donner lieu à une interférence constructive. Un miroir de Bragg est donc construit pour fonctionner pour une longueur d'onde précise : l'épaisseur de ses couches successives doit être égale à un quart de la longueur d'onde de fonctionnement.

Entre les deux miroirs de Bragg qui se font face, on intercale une couche d'épaisseur égale à un multiple de la demi-longueur d'onde. Un photon introduit dans cette couche y crée un mode photonique plan confiné : en d'autres termes, une répartition stationnaire du champ lumineux dans le plan du piège optique.

Au sein de ce piège à photons, on place un ou plusieurs puits quantiques aux maxima du champ électrique du mode photonique confiné. Concrètement, les puits quantiques prennent la forme de couches de matériau semi-conducteur épaisses de quelques nanomètres seulement.

En pratique, ces pièges sont obtenus par croissance cristalline en de nombreuses étapes, grâce aux progrès techniques accomplis dans les années 1980. Le piégeage des excitons et des photons se fait le long de l'axe de la croissance du cristal, noté z . Les excitons et les photons restent donc libres de se déplacer dans le plan perpendiculaire à z , qui est aussi celui du piège.

Comment caractériser le comportement de ces particules ou quasi-particules dans le piège ? Cette information est donnée par la « relation de dispersion »



2. L'ÉMISSION LUMINEUSE d'un gaz de polaritons dans l'espace $\{\epsilon, k\}$ et dans l'espace physique avant et après la condensation de Bose-Einstein traduit la relation de dispersion des excitons. Avant la condensation (a et b), l'émission est diffuse. Après la condensation (c et d), l'émission devient cohérente et tend à se concentrer autour d'une seule valeur de k dans l'espace $\{\epsilon, k\}$ et à devenir ponctuelle (plusieurs condensats sont présents simultanément) dans l'espace physique.

dans le matériau, c'est-à-dire par la relation entre leur énergie et leur vitesse.

Comment créer des excitons dans le puits quantique ? En y pompant de l'énergie lumineuse, c'est-à-dire en l'inondant de lumière. Une partie de cette lumière y est absorbée et crée des excitons. Une telle paire électron-trou peut se recombiner (l'électron et le trou disparaissent simultanément) et restituer sous la forme d'un photon l'énergie ayant servi à le créer. À peine émis, le photon se retrouve dans le piège optique, dans la même région de l'espace que le piège à excitons.

L'interaction d'un exciton et d'un photon piégés ensemble peut se produire de deux façons, l'une qualifiée de faible et l'autre de forte. Dans la première, un photon émis par la recombinaison d'un exciton quitte la cavité avant d'interagir à nouveau avec un exciton ; on parle de régime de couplage faible, puisque le photon ne reste pas assez longtemps dans la cavité pour que de nouvelles interactions aient lieu.

Piégeage dans un plan

Dans le régime de couplage fort, en revanche, l'exciton émet en se recombinant un photon dont la durée de vie est assez longue pour que le photon soit réabsorbé et recrée l'exciton ; ce dernier réémet ensuite le photon, puis le réabsorbe, etc. C'est ainsi que s'établissent des états intermédiaires entre exciton et photon : les polaritons. Dans le piège, ces états quantiques mêlant lumière (le photon) et matière (l'exciton) ne sont confinés que dans la direction z ; ils s'étendent dans tout le plan du piège, perpendiculaire à z .

Il existe en fait plusieurs sortes de polaritons, mettant en jeu des quasi-particules différentes. Ceux que nous considérons ici sont nommés polaritons de microcavité, par référence à la microcavité optique. L'énergie des polaritons de microcavité résultant du couplage fort peut prendre deux valeurs, l'une basse et l'autre élevée, mais toutes deux différentes de celles du photon et de l'exciton d'origine.

L'écart entre ces deux énergies est de l'ordre de cinq à dix milliélectronvolts (un électronvolt vaut $1,6 \times 10^{-19}$ joule) dans les structures à base d'arséniure de gallium (GaAs, l'un des semi-conducteurs les plus utilisés en optoélectronique) ; il peut atteindre 60 milliélectronvolts dans des structures réalisées avec