

Le laser à polaritons n'est que le premier d'un ensemble de composants fondés sur les propriétés des polaritons. L'enjeu est la réalisation de circuits à polaritons qui ouvriraient la voie à un traitement de l'information ultra-rapide et entièrement optique.

Ce genre de composant nécessite toutefois la propagation et la manipulation de condensats sur plusieurs dizaines de micromètres.

Jusqu'à présent, le désordre présent dans les échantillons à microcavités et la trop brève durée de vie des polaritons ont limité les réalisations expérimentales, alors que de nombreux schémas de transistors ou d'interféromètres à polaritons ont été proposés.

Ces difficultés semblent en grande partie résolues par des travaux récents du Laboratoire de photonique et de nanostructures (CNRS,

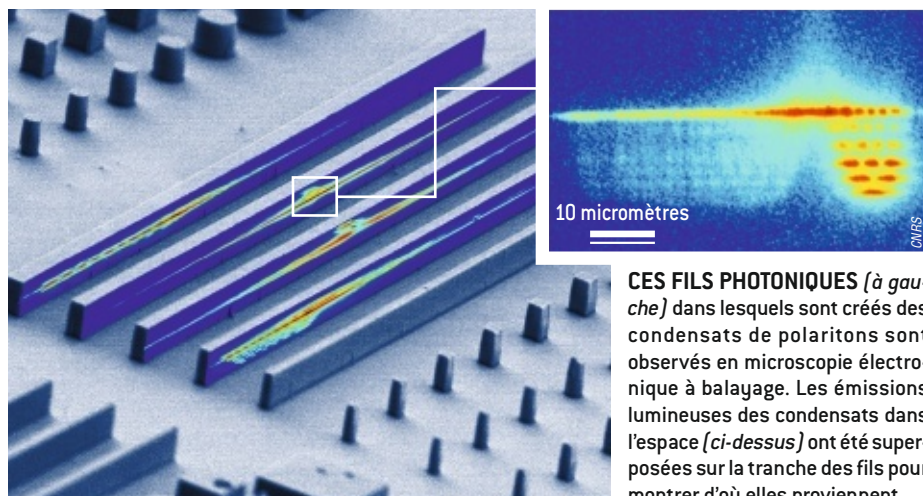
à Marcoussis) qui ont élaboré des microcavités en forme de fil (*ci-dessous*) où la durée de vie des polaritons est dix fois plus longue que dans les structures qui existaient jusqu'à présent. Elle peut de fait atteindre 100 picosecondes.

Ces travaux ont conduit, en collaboration avec notre laboratoire (LASMEA) et l'Institut des nanosciences de Paris (CNRS/UPMC), à la création de condensats de po-

laritons qui s'étendent bien au-delà de la zone où ils ont été créés, tout en gardant leur cohérence spatiale. Ces condensats lumière-matière interagissent avec leur environnement, ce qui a permis aux chercheurs de les manipuler par des moyens optiques.

Pour les obtenir, on emploie un faisceau laser pour créer localement des paires électron-trou. Une fois ces dernières en nombre suffisant, elles se condensent dans un même état quantique. Alors que jusqu'à présent, ce phénomène restait localisé à la zone d'excitation, les chercheurs ont pu observer la présence de cet état quantique macroscopique sur toute la longueur du fil.

Les physiciens ont en outre montré que l'expansion du condensat est gouvernée par le potentiel répulsif qui s'exerce entre le condensat et les particules non condensées dans la zone d'excitation. L'utilisation de ce potentiel fournit d'ailleurs un moyen nouveau de contrôler l'étendue du condensat.



CES FILS PHOTONIQUES (*à gauche*) dans lesquels sont créés des condensats de polaritons sont observés en microscopie électronique à balayage. Les émissions lumineuses des condensats dans l'espace (*ci-dessus*) ont été superposées sur la tranche des fils pour montrer d'où elles proviennent.

En effet, les polaritons de cavité sont en partie constitués de photons qui peuvent être émis vers l'extérieur de la cavité à travers les miroirs de Bragg, qui ont une certaine capacité à transmettre de la lumière. Comme les polaritons condensés sont très nombreux à être dans le même état quantique, c'est aussi le cas pour les photons émis hors de la cavité à travers les miroirs de Bragg. En d'autres termes, la condensation de Bose-Einstein des polaritons s'accompagne d'un rayonnement monochromatique, cohérent et intense, bref d'un rayonnement laser. Pour les physiciens, il est remarquable que ce rayonnement laser ne doive rien au principe de l'inversion de population qu'exploitent les autres lasers...

Le principe des lasers à polaritons a été proposé en 1996 par Atac Imamoglu de l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETH). Leur intérêt, potentiellement immense, tient au fait que l'énergie minimale à leur apporter pour les faire fonctionner est extrêmement faible, par comparaison avec tous les autres lasers.

Ces avancées suggèrent qu'il est temps de tenter d'exploiter les lasers à polaritons sous la forme d'une nouvelle génération de composants optoélectroniques très peu gourmands en énergie.

L'ensemble des effets physiques évoqués et leurs applications potentielles pourraient être obtenus à température ambiante si des microcavités étaient réalisées à partir de semi-conducteurs dits « à grande bande interdite » en nitrure de gallium (NGa) ou en oxyde de zinc (ZnO). Toutefois, cela représente encore un défi technique.

Des condensats à température ambiante

La réalisation de microcavités en nitrure de gallium fonctionnant en régime de couplage fort a déjà fait l'objet de trois projets européens en huit ans. C'est ainsi que l'observation du régime de couplage fort à 300 kelvins (la température ambiante) dans une structure en nitrure de gallium a été rapportée dès 2003. La qualité des structures a été par la suite fortement améliorée, de sorte

que le premier rayonnement d'un laser à polaritons fonctionnant à température ambiante a été obtenu en 2007. L'observation de la condensation de Bose-Einstein à cette température est revendiquée par des chercheurs de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, des Universités de Southampton et de Cambridge, ainsi que par ceux de notre laboratoire.

Une étape reste à franchir avant d'obtenir des composants viables commercialement : la mise en circuit de ces structures. Notre laboratoire a déposé un brevet proposant un schéma d'injection efficace et développé en collaboration avec l'Université de Rome un simulateur du laser à polaritons pompé électriquement, simulateur qui inclut le transport des porteurs de charge électrique à partir des contacts, la formation des excitons et des polaritons, et la condensation de ces quasi-particules. Nos résultats suggèrent que des lasers à polaritons, fonctionnant avec beaucoup moins d'énergie que les photodiodes actuelles, arriveront sur le marché dans un futur proche. ■

HISTOIRE DES SCIENCES

Comment la France adopta l'heure de Greenwich

Il y a 100 ans, après presque 30 ans de résistance, la France abandonnait l'heure de Paris pour se mettre à celle de Greenwich...

sans pour autant l'indiquer explicitement dans le texte de loi.

Jacques GAPAILLARD

Janvier 1911. Essoufflé, l'homme jette un coup d'œil à l'horloge de la gare de Lyon, à Paris, avant de s'engouffrer dans le bâtiment. Ouf, il n'est que 8h05 « heure de Paris ». Le train Paris-Lyon doit partir à 8h04 « heure du chemin de fer », et il lui reste donc encore quatre minutes pour rejoindre le quai et monter à bord. Tel était le quotidien du voyageur français à l'aube du XX^e siècle. Depuis le milieu du siècle précédent, les horaires des trains avaient cinq minutes de retard sur l'heure de Paris. On voulait à la fois aider le voyageur à prendre son train, et prévenir d'éventuelles réclamations en cas de train manqué. Cette spécificité française était accompagnée d'une autre particularité : l'heure de Paris, qui était l'heure légale française depuis 1891, avançait de 9 minutes et 21 secondes par rapport à l'heure de Greenwich et, de ce fait, ne s'intégrait pas au système des fuseaux horaires largement adopté dans le monde depuis 1892.

La France a finalement adhéré au système horaire mondial par la loi du 9 mars 1911, en même temps qu'elle se débarrassait de l'heure du chemin de fer. Pourquoi avoir si longtemps différé cette mesure ? Et quel événement a débloqué la situation ?

Pour comprendre la position française, remontons quelque temps plus tôt. Pendant longtemps, l'heure solaire vraie, celle des cadrans solaires, a été la seule envisageable, et son emploi allait de soi, sans qu'il fût nécessaire de le spécifier. Avec les progrès de l'horlogerie au XVIII^e siècle, on a peu à peu substitué à l'heure solaire vraie l'heure locale de temps moyen, heure fondée sur la course d'un soleil moyen fictif corrigée des irrégularités de la

LOI portant modification de l'heure légale française, pour la mettre en concordance avec le système universel des fuseaux horaires.

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,
Le Président de la République promulgué la loi dont la teneur suit :

Article unique. — L'heure légale en France et en Algérie est l'heure, temps moyen de Paris, retardée de neuf minutes vingt et une secondes.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 9 mars 1911.

A. FALLIÈRES.

Par le Président de la République :
Le ministre des travaux publics,
des postes et des télégraphes,
CHARLES DUMONT.

Le sous-secrétaire d'Etat des postes et des télégraphes,

Sur la proposition du directeur de l'exploitation télégraphique,

Arrête :

Art. 1^{er}. — A partir de la nuit du 10 au 11 mars 1911, à minuit, l'heure de tous les bureaux de poste, télégraphe et téléphone est celle du temps moyen de Paris, retardée de neuf minutes et vingt et une secondes.

Art. 2. — Pendant la période s'étendant de la nuit du 10 mars au 11 mars (minuit) à la nuit du 30 juin au 1^{er} juillet 1911 (minuit), l'indication de l'heure transmise aux navires en mer, par les stations côtières radiotélégraphiques ouvertes au service public, sera suivie de la mention : « Heure de l'Europe occidentale ».

Art. 3. — Le présent arrêté sera déposé au cabinet du sous-secrétariat d'Etat des postes et des télégraphes pour être notifié à qui de droit.

Fait à Paris, le 9 mars 1911.

(CHARLES CHAUMET).

1. LE TEXTE DE LA LOI du 9 mars 1911 sur l'heure légale française tel qu'il fut publié dans le *Journal Officiel*. Il indique que la nouvelle heure légale en France et en Algérie est l'heure de Paris retardée de 9 minutes et 21 secondes, sans pour autant spécifier que cette opération revient à adopter l'heure de Greenwich.

marche apparente du Soleil réel. Cette décision a d'abord été prise par la ville de Paris en 1826 (et non 1816 comme on le lit souvent), puis s'est étendue en province, mais le changement résultait uniquement d'initiatives locales.

Une heure de référence internationale

Cependant, le fonctionnement du chemin de fer ne pouvait s'accommoder des heures locales. Une même heure devait régler la marche des trains sur une même ligne et, bientôt, une heure unique, celle de Paris, a régné sur l'ensemble du réseau. C'est ainsi que le chemin de fer a diffusé en province l'heure de Paris, laquelle réglait, aux côtés de l'heure locale (et de l'heure du chemin de fer, décalée, nous l'avons vu, de cinq minutes par rapport à celle de Paris), la vie des villes desservies. À partir de la fin des années 1870, plusieurs villes ont pris l'initiative d'adopter l'heure de Paris, si bien qu'au début des années 1880, le paysage horaire français est un curieux mélange de l'heure de Paris, de l'heure du chemin de fer et des heures locales, mélange où il est difficile de se retrouver.

La France n'est pas le seul pays à avoir des problèmes d'horaires. Avec l'étendue du territoire des États-Unis en longitude et la multiplicité des compagnies ferroviaires, le paysage horaire des chemins de fer américains est particulièrement chaotique. En avril 1883 est présenté un projet de normalisation des heures ferroviaires aux États-Unis et au Canada, inspiré des idées de Sandford Fleming (1827-1915), ingénieur