

Alain Aspect

La révolution des lasers

Directeur de recherche au CNRS et professeur à l'Institut d'optique et à l'École polytechnique, Alain Aspect anime le groupe d'optique atomique du laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'optique (CNRS, Institut d'Optique Graduate School, Université Paris-sud 11) à Palaiseau. Il a reçu en 2005 la médaille d'or du CNRS pour l'ensemble de ses travaux. En 2010, le Prix Wolf de physique lui est remis, ainsi qu'à John F. Clauser (États-Unis) et Anton Zeilinger (Autriche), pour leurs contributions à la physique quantique.

Quelle place le laser occupe-t-il dans notre société ?

Alain Aspect : Il occupe une place centrale. Le laser est à la base de la société de l'information et de la communication que nous connaissons aujourd'hui. Il a apporté un bouleversement comparable à la révolution industrielle permise par la machine à vapeur. La mutation technologique que nous vivons s'appuie sur deux piliers : l'informatique et les transmissions à haut débit associant fibre optique et laser.

Quelles sont les avancées conceptuelles que le laser a permises dans le domaine scientifique ?

Alain Aspect : La pureté de la lumière laser a permis de contrôler l'interaction entre lumière et matière à un niveau de finesse inconnu auparavant. Par exemple, il est possible d'explorer avec un laser la forme des raies d'émission ou d'absorption des atomes. Cette possibilité est la base de nombreuses applications du laser dans le domaine scientifique.

Le laser est pour nous un outil qui permet de porter la matière dans des états qu'on aurait à peine imaginés jusque-là. Un outil capable par exemple de ralentir les atomes et de contrôler parfaitement leur mouvement, de les faire interférer. On peut aussi les « forcer » à émettre des photons « intriqués ». Il a été ainsi possible de revisiter, grâce à l'expérience, des prédictions étonnantes de la mécanique quantique et d'explorer de nouvelles frontières de la connaissance.

Le laser le plus intense du Laboratoire d'optique appliquée, à Palaiseau, délivre 100 térawatts, soit 10^{14} watts. Une expérience est en cours de montage dans la chambre d'interaction qui sera ultérieurement mise sous vide.

Quels sont les points forts en matière de laser sur le campus de Saclay ?

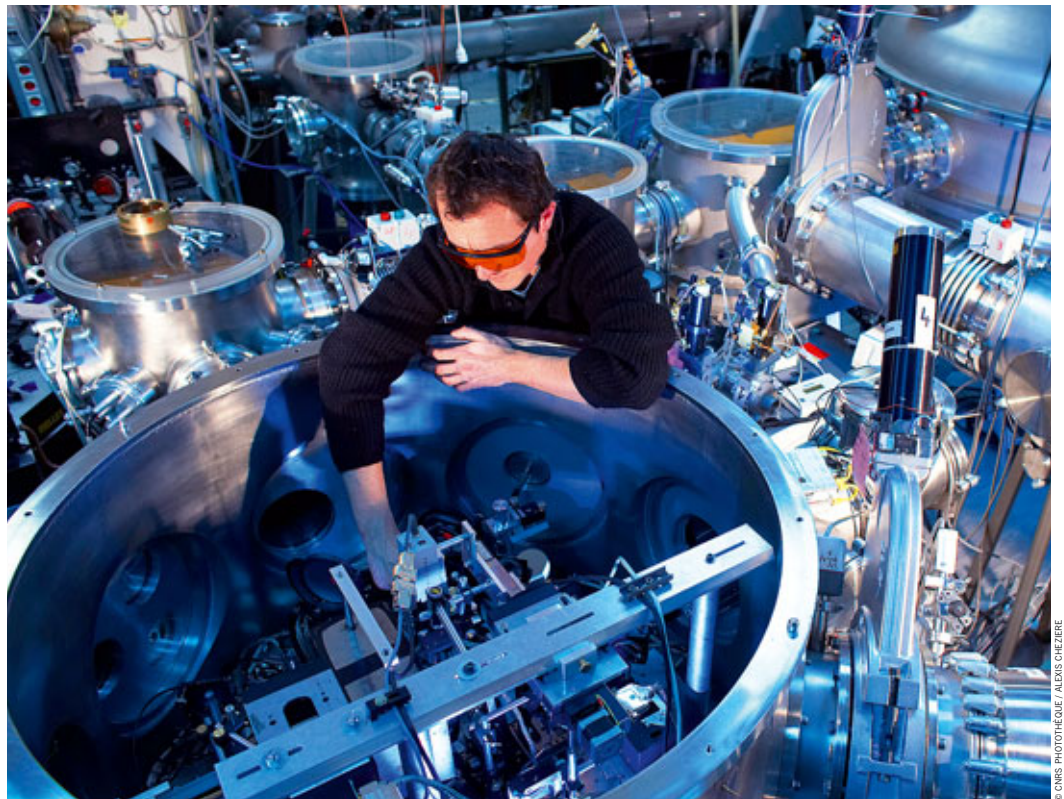
Alain Aspect : Au LULI, au LOA, au LOB et au centre CEA de Saclay, c'est toute une histoire de pionniers, à l'échelle mondiale, qui s'est écrite depuis une trentaine d'années, avec en particulier les lasers en impulsions. On peut citer quelques-uns de ces pionniers qui ont aujourd'hui passé le relais : Alain Orszag, André Antonetti, Édouard Fabre, Claude Manus, Pierre Agostini, Anne L'Huillier, etc.

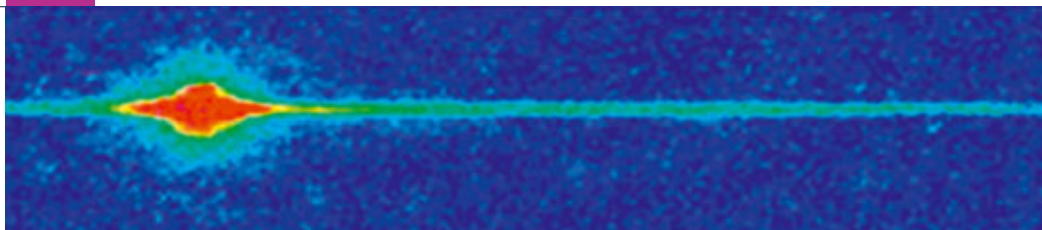
Les photons intriqués

Les photons intriqués sont des sortes de jumeaux qui présentent des propriétés identiques, même à grande distance l'un de l'autre. Ce qui est étonnant dans l'intrication quantique, c'est qu'on ne peut en déduire que ces propriétés existaient avant la mesure. En 1982, Alain Aspect a démontré expérimentalement pour la première fois la réalité de cette propriété étonnante de la mécanique quantique et tranché en même temps un vieux débat entre Niels Bohr et Albert Einstein sur les fondements de cette théorie.

Condensats d'atomes ultra-froids et lasers à atomes

À très basse température, un gaz atomique peut devenir un condensat de Bose-Einstein, c'est-à-dire un milieu dans lequel tous les atomes sont dans le même état quantique et qui peut être décrit comme une seule onde de matière. Il est possible de réaliser, à partir de condensats, des faisceaux d'ondes de matière, véritables « lasers à atomes » où les photons sont remplacés par des atomes.





Laser à atomes guidé. L'image montre les atomes se propageant sur plusieurs millimètres, à l'intérieur d'un guide horizontal créé par de la lumière laser, jouant le rôle d'une sorte de fibre optique pour atomes. Ce laser pourrait avoir des applications dans des capteurs inertiels ou gravitationnels, utiles en navigation ou pour l'exploration du sous-sol.

À l'Institut d'optique, ce sont plutôt les lasers continus qui ont permis les expériences sur les fondements de la mécanique quantique des années 1980. Aujourd'hui, les travaux de Philippe Grangier en optique quantique se positionnent au meilleur niveau mondial et ouvrent des perspectives prometteuses dans le traitement quantique de l'information. Il faut également mentionner le développement de lasers originaux pour des besoins particuliers et la recherche autour des « cristaux photoniques », c'est-à-dire des structures périodiques (ou méta-matériaux) qui ont des propriétés optiques sans équivalent dans les matériaux conventionnels.

Parmi tous vos travaux, lequel vous semble le plus important et pourquoi ?

Alain Aspect : J'ai travaillé sur trois grands sujets : les fondements de la mécanique quantique (1974-1985, travaux aujourd'hui récompensés par le Prix Wolf), le refroidissement des atomes (1985-1992, avec Claude Cohen-Tannoudji¹) et depuis 1992, l'optique atomique. L'idée est de faire avec les atomes ce qu'on sait faire avec les photons depuis longtemps : les réfléchir sur des miroirs par exemple. En 1995, il s'est produit un événement considérable avec la réalisation² de la condensation de Bose-Einstein d'un gaz d'atomes ultra-froids. On a aussitôt compris que la voie était ouverte aux lasers à atomes. Aujourd'hui, nous maîtrisons les techniques expérimentales extraordinairement délicates de ces condensats et nous disposons de plusieurs lasers atomiques. Mon préféré est un laser dont les atomes sont guidés horizontalement par un faisceau lumineux... issu d'un laser photonique. À la différence des photons, les atomes ont une masse et sont accélérés par la gravité, ce qui provoque une augmentation

de leur énergie. Un inconvénient qui n'a pas le laser à atomes horizontal où les atomes ne tombent plus ! Couplé à un interféromètre atomique, un tel laser pourrait permettre de détecter des effets gravitationnels ou inertiels avec une sensibilité inégalée. Les applications vont de la navigation à l'exploration du sous-sol.

Je voudrais aussi évoquer d'autres travaux de notre groupe d'optique atomique. Chris Westbrook a développé une technique de détection atome par atome, sur le modèle du comptage de photons : un point de passage obligé pour réaliser des expériences d'optique quantique atomique³. Les atomes ultra-froids offrent également la possibilité de simuler le comportement des électrons à l'intérieur d'un matériau et d'avoir une approche expérimentale et non plus seulement théorique de questions particulièrement ardues comme l'interprétation de la conductivité⁴. Une expérience de ce type⁵ a été réalisée à l'Institut d'optique en première mondiale.

Comment percevez-vous l'émergence du campus de Saclay ?

Alain Aspect : Je pense que le campus de Saclay est une chance unique de créer un ensemble universitaire analogue aux grandes universités américaines comme le MIT⁶, à condition que les divers établissements sachent converger. Le RTRA (Réseau thématique de recherches avancées) du Triangle de la physique est un exemple réussi d'une telle convergence entre universités, grandes écoles, CEA... Et puis, ne négligeons pas l'effet positif de la proximité géographique qui favorise les contacts informels. C'est ainsi que depuis que nous sommes leurs voisins, nous voyons beaucoup plus souvent les chercheurs de Thales, qui fréquentent volontiers notre cafétéria !

1/ En 1997, Claude Cohen-Tannoudji, Steven Chu et William D. Phillips ont reçu le Prix Nobel de physique en 1999 pour « le développement de méthodes pour refroidir et piéger des atomes avec des faisceaux laser ».

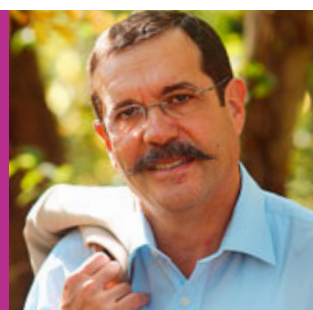
2/ Par Eric Cornell et Carl Wieman.

3/ Notamment l'effet Hanbury, Brown et Twiss transposé aux atomes.

4/ Problème dit à N corps.

5/ Observation de la localisation d'Anderson.

6/ Massachusetts Institute of Technology, à Boston.



© CHRIS PHOTOLOGIE / JÉRÔME CHAÏN

« Sur le Plateau de Saclay, c'est toute une histoire de pionniers qui s'est écrite depuis une trentaine d'années. »

ALAIN ASPECT



Sous le haut patronage de Nicolas Sarkozy, Président de la République

Un événement présidé par le Pr Charles H. Townes,

<http://www.laser50paris.com>

les 22 et 23 juin 2010

Paris | Palais du Louvre

Palaiseau | École Polytechnique