



ARRÊTER LA LUMIÈRE, la figer en plein vol, une idée impossible, réservée à la science-fiction ? Non. Grâce notamment à des condensats de Bose-Einstein – des gaz d'atomes ultrafroids qui ont des propriétés quantiques étonnantes –, les physiciens sont capables de ralentir une impulsion lumineuse.

à celle dans le vide, car les atomes mis en vibration par son passage la réémettent avec un retard. Ainsi, la vitesse de phase de la lumière dans l'eau est, par rapport au vide, réduite d'un quart. Ce phénomène est à l'origine de la réfraction, que l'on caractérise par un « indice de réfraction » : le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et sa vitesse de phase dans un milieu transparent.

Même dans les cas les plus extrêmes, la réduction de la vitesse de phase est modeste : dans le diamant, dont l'indice de réfraction vaut 2,4, la lumière se propage à 125 000 kilomètres par seconde. On est encore loin de l'arrêter comme le fait Kylo Ren !

Coup de froid sur la lumière

Les physiciens ont trouvé le moyen de ralentir très fortement la lumière en jouant sur la vitesse de groupe. Pour ce faire, il faut créer artificiellement une forte dispersion dans un milieu. Imaginée dans les années 1910 par les physiciens français Léon Brillouin et allemand Arnold Sommerfeld, la lumière « lente » est restée une curiosité théorique jusqu'en 1999. L'équipe de la physicienne danoise Lene Vestergaard Hau, de l'université Harvard, a alors réussi à ralentir un faisceau lumineux à la vitesse d'environ 60 kilomètres par heure. Et l'année suivante, elle a ralenti la lumière à la vitesse d'un marcheur ! Pour réussir ce tour de force, deux ingrédients ont été nécessaires : un laser

de commande qui produit de fortes densités d'énergie lumineuse et un condensat de Bose-Einstein, un gaz ultrafroid (à une fraction de degré au-dessus du zéro absolu), qui peut absorber fortement la lumière sur une faible distance, de l'ordre du centimètre.

Le laser de commande agit sur le gaz et le rend transparent autour d'une fréquence bien précise. L'indice de réfraction du gaz subit aussi une variation brutale sur le même intervalle de fréquence. Grâce à la transparence induite par le laser, une impulsion lumineuse ayant la bonne fréquence traverse le gaz sans être absorbée, et l'on montre que sa vitesse de groupe est d'autant plus faible que la variation de l'indice de réfraction est grande.

Dans cette expérience, il est même possible de stopper complètement l'impulsion en éteignant le laser de commande au moment où, ralentie, elle se trouve tout entière dans le condensat de Bose-Einstein. Lorsqu'on rallume le laser de commande, l'impulsion lumineuse repart et se propage comme si de rien n'était. Ce processus ne permet toutefois de stocker l'impulsion lumineuse qu'une milliseconde avant qu'elle ne se dégrade définitivement, à cause de l'agitation résiduelle des atomes du gaz froid.

Depuis cette expérience fondatrice, d'autres équipes ont cherché à ralentir la lumière dans un milieu moins difficile à produire qu'un condensat de Bose-Einstein. Ainsi, en 2003, l'équipe de Robert Boyd, de l'université de Rochester, a ralenti la lumière à une centaine de mètres par seconde dans

un cristal d'alexandrite (un oxyde de béryllium et d'aluminium) à température ambiante. Et en 2004, l'équipe de Luc Thévenaz, à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, a réussi à ralentir la lumière dans une fibre optique classique.

Si l'on comprend pourquoi Kylo Ren veut arrêter le tir laser de Poe Dameron, à quoi peut bien servir la lumière lente ? Une application concerne les routeurs et les commutateurs des réseaux de communication. Ils sont pour l'instant électroniques ; les remplacer par leurs équivalents optiques augmenterait la rapidité des commutations et la lumière lente permettrait de mettre les paquets en attente avant de les regrouper.

On pourrait aussi réaliser des antennes à commande de phase pour les radars et la téléphonie mobile. Ces antennes sont constituées de petits éléments qui émettent le même signal, mais retardé d'un élément à l'autre. En modulant, grâce à la lumière lente, le retard entre les éléments, on focaliserait à volonté l'onde résultant de la superposition de tous les signaux élémentaires.

Si les physiciens savent désormais faire varier la vitesse de groupe de la lumière dans des proportions considérables, une question reste en suspens : comment fait Kylo Ren pour créer un condensat de Bose-Einstein avec la Force ? ■

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay. J.-Sébastien STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. Marc BOULAY est sculpteur numérique.

Complétez votre collection !



Retrouvez tous les numéros depuis 1996 !

Commandez vos numéros sur
www.pourlascience.fr

POUR LA
SCIENCE | **ARCHIVES**



IDÉES DE PHYSIQUE

Le fantôme du candidat

Faire apparaître sur scène un personnage qui se trouve à mille lieues de là n'a rien d'impossible : il suffit de projeter à plat son image, d'utiliser un film semi-transparent et de jouer sur les ombres et les lumières.

Jean-Michel COURTLY et Édouard KIERLIK

Tout récemment, l'utilisation d'« hologrammes » lors de spectacles musicaux ou de réunions politiques a fait le tour des médias : le public découvrirait sur scène une image réaliste en relief (on dit de nos jours « 3D ») de danseurs ou d'un candidat à l'élection présidentielle, sans avoir besoin de lunettes spéciales.

En réalité, il ne s'agit pas d'hologrammes, mais d'une simple projection sur un écran semi-transparent. C'est une adaptation d'une méthode connue depuis le XIX^e siècle, sous le nom de fantôme de Pepper. Comment cette projection, qui inspire aujourd'hui les dispositifs d'« affichage tête haute » développés pour les pilotes d'avions et les conducteurs de voitures, crée-t-elle l'illusion du relief ?

Illusions au théâtre

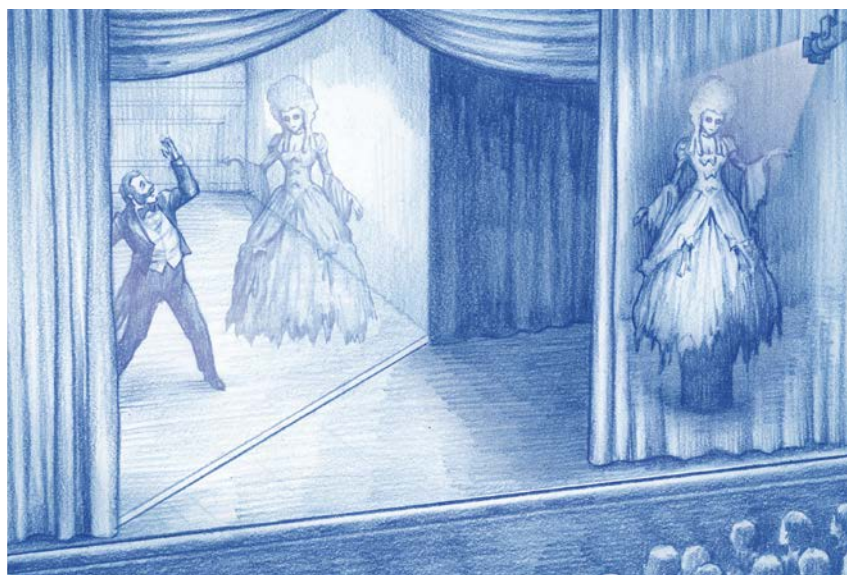
Revenons au XIX^e siècle. À cette époque où le spiritisme est en plein essor, Henry Dircks, un ingénieur anglais, invente (en 1858) un dispositif pour faire apparaître des fantômes sur une scène de théâtre. Il utilise pour ce faire une trappe, des miroirs et des jeux de lumière. Le principe de base est particulièrement simple et, comme nous allons le voir, nous l'avons tous involontairement expérimenté.

Lorsque, une fois la nuit tombée, nous entrons dans une pièce dont les volets ne sont pas fermés, nous voyons très bien

l'extérieur à travers la vitre, dont nous pouvons même douter de la présence lorsqu'elle est parfaitement propre. En revanche, dès que nous allumons la lumière dans la pièce, la fraction réfléchie par la vitre (environ 8 %) est bien plus intense que la lumière qui nous parvient de l'extérieur. La vue de l'extérieur est alors remplacée par la vue de l'intérieur, sauf pour les objets lumineux (lampadaires de rue, phares des voitures...) qui viennent se superposer au reflet déjà

présent. Réciproquement, en plein jour, on observe à travers la vitre l'image de la lampe allumée dans la pièce, superposée à la vue de l'extérieur.

Pour réaliser cette superposition d'images à des fins théâtrales, Henry Dircks eut l'idée de faire remonter à travers une trappe, et à l'aide d'un miroir incliné à 45 degrés, l'image d'une pièce située sous la scène vers une vitre disposée devant la scène avec la même inclinaison.



UN FANTÔME SUR SCÈNE : cet effet peut être obtenu grâce à une vitre verticale orientée à 45 degrés par rapport aux spectateurs. Ces derniers voient le reflet d'un personnage présent dans les coulisses (à droite) et qui leur est caché. Les coulisses sont dans l'obscurité, mais le personnage à faire apparaître de façon fantomatique est éclairé.

Dessins de Bruno Vacaro