



**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.*