



Communiqué de presse du 15 mars 2022

Une collaboration internationale impliquant la Chaire Photonique au sein du laboratoire LMOPS de CentraleSupélec et de l'Université de Lorraine (Metz, France), et Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine), a réussi à ralentir la lumière à température ambiante, en exploitant des propriétés optiques non-linéaires d'un cristal dit photoréfractif. Les résultats ont été publiés dans la revue internationale Physical Review A de l'American Physical Society². Des retards de plusieurs nanosecondes sont réalisés sur des impulsions de durée de quelques nanosecondes, permettant d'envisager de nouvelles solutions de routage tout optique de l'information en télécommunications.

L'un des effets les plus fascinants de la lumière est sa vitesse. Avec une vitesse d'environ 300 000 km/s dans l'air, la lumière met un peu plus de 6 minutes pour faire un aller-retour entre la Terre et la planète Mars! Cependant la valeur de la vitesse de la lumière peut être contrôlée lors de sa propagation dans un autre milieu hors le vide. La lumière peut être ralentie typiquement d'un facteur 2 ou 3 au maximum dans les matériaux qui présentent des indices de réfraction supérieurs à 1. Plus spectaculaires, des effets physiques dits de dispersion, par lesquels cet indice de réfraction de la matière dépend de la longueur d'onde de la lumière, peuvent significativement modifier la vitesse d'une impulsion de lumière.

Une telle technologie qui maîtriserait cet effet physique de dispersion de la lumière dans la matière, permettrait alors une avancée significative dans ce que l'on appelle le traitement tout optique de l'information. Notre société de l'information exploite certes la lumière pour transmettre l'information, mais le routage de l'information dans des réseaux de fibres optiques reste réalisé de façon électronique, limitant forcément le débit des données transmises et par ailleurs consommant beaucoup d'énergie. Une révolution technologique de la société de l'information serait celle où l'information serait produite, transformée, transportée mais aussi routée de façon optique, en exploitant un ralentissement des impulsions optiques circulant dans la fibre optique.

La première expérience du ralentissement de la lumière remonte à 1999, lorsque Lene Vestergaard Hau et son équipe de l'université d'Harvard ont montré que la lumière peut être ralentie dans les condensats de Bose-Einstein à la vitesse d'un cycliste, soit seulement 17 m/s! Cette démonstration est restée d'un impact néanmoins limité, car l'effet physique utilisé (transparence

électromagnétique induite) nécessite un refroidissement du système physique à 77K, et les impulsions de lumière ralenties étaient de durée de quelques millisecondes, soit largement plus longues que les durées pendant lesquelles sont transmises des données dans nos réseaux de télécommunications optiques.

Plus récemment, la lumière lente a été également observée avec succès dans des matériaux dispersifs à l'état solide et à température ambiante tels que des cristaux dits photoréfractifs, dans lesquels l'indice de réfraction est sensible à la distribution spatiale de l'intensité lumineuse dans le cristal. En utilisant un cristal photoréfractif dit SPS, nous avons ainsi démontré en 2019 le ralentissement d'impulsions lumineuses, de durée comprise entre 1ms et plusieurs secondes à des vitesses inférieures à 1 cm/s, soit une réduction d'un facteur 10 000 000 de la vitesse de la lumière dans le vide pour s'approcher de la vitesse d'une tortue! Malheureusement, cette réduction spectaculaire de la vitesse du groupe est obtenue pour des impulsions qui restent longues par rapport aux durées d'impulsions utilisées en télécommunications.

Dans ces nouveaux travaux publiés dans la revue américaine Physical Review A (American Physical Society)¹, nous sommes parvenus à réduire significativement le temps de réponse du cristal photoréfractif SPS à quelques nanosecondes, permettant de ralentir des impulsions aussi courtes que 10 nanosecondes, dont les durées sont donc proches des standards des télécommunications optiques. Cette avancée significative est observée à température ambiante, et dans un matériau qui permet d'observer ce ralentissement pour des longueurs d'onde couvrant une grande partie du spectre du rayonnement visible et infra-rouge.

Delphine Wolfersberger, professeure au sein de la Chaire Photonique et qui a dirigé les travaux, commente: « Ce résultat est un progrès important dans la quête du traitement entièrement optique de l'information. Le 20ème siècle a été celui des communications optiques. Le 21ème siècle sera celui de l'information optique. Ce résultat est aussi l'aboutissement de plus de 20 ans de travaux dans notre équipe sur les propriétés optiques non-linéaires des cristaux photoréfractifs.»

Marc Sciamanna, professeur, directeur de la Chaire Photonique, rappelle que « l'exploitation de la nature complexe de la lumière quand elle interagit avec la matière est au cœur des thématiques de recherche de la Chaire Photonique à Metz. Au-delà du ralentissement d'impulsions optiques rapides, la Chaire Photonique exploite ces dynamiques complexes pour le développement d'une intelligence artificielle photonique, pour le routage ou le stockage tout optique de l'information, et pour la cryptographie. La photonique s'inscrit donc dans une démarche innovante où la lumière ne sert plus uniquement à communiquer ou éclairer mais aussi réalise des fonctions qui sont couramment réalisées par des dispositifs électroniques par ailleurs coûteux en énergie. »

La Chaire Photonique bénéficie du financement de GDI Simulation (groupe MBDA), de l'Union Européenne, du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, de la Région Grand Est, du Département de la Moselle, de Metz Métropole, de CentraleSupélec et de la Fondation CentraleSupélec. Site web: www.chairephotonique.fr

¹ Nacera Bouldja, Mykhailo Tsyhyka, Alexander Grabar, Marc Sciamanna, and Delphine Wolfersberger, Phys. Rev. A 105, L021501 (2022); <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.105.L021501>

CONTACT PRESSE CENTRALESUPÉLEC

Béatrice Parrinello-Froment / beatriceparrinello@bpfconseil.com / Tel : +33 6 63 72 16 06

CONTACT CHAIRE PHOTONIQUE

Prof. Dr. Ir. Marc Sciamanna / marc.sciamanna@centralesupelec.fr / Tel : + 33 6 32 82 93 31
secr. : Mary Fall / maryvonne.fall@centralesupelec.fr / Tel : +33 3 87 76 47 48

CONTACT SCIENTIFIQUE

Dr. Nacera Bouldja/ nacera.bouldja@centralesupelec.fr
Prof. Dr. Delphine Wolfersberger / delphine.wolfersberger@centralesupelec.fr