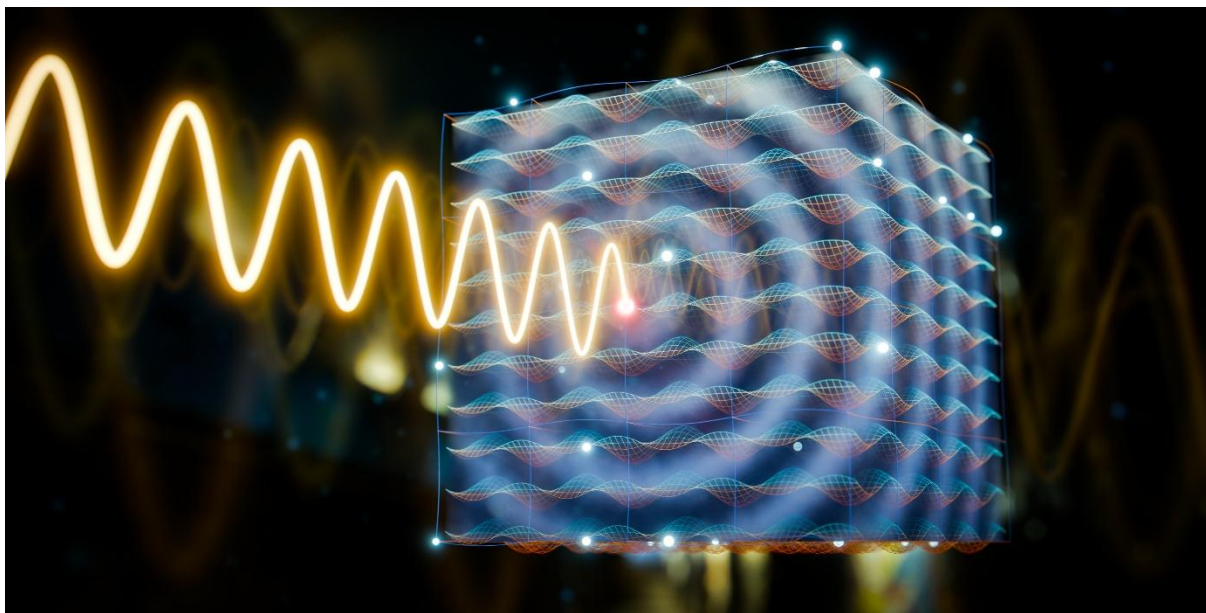


COMMUNIQUÉ DE PRESSE – 29 JUILLET 2026

Cristaux photoniques temporels : une révolution dans la maîtrise de la lumière



Une onde électromagnétique THz induit des modulations temporelles fortes et rapides qui permettent de créer un cristal de temps photonique, qui est un réseau cristallin adaptable dans le temps pour capturer les photons. © B. Schröder/HZDR

Palaiseau, le 29 juillet 2026 – Une équipe internationale de chercheurs de l'École polytechnique, du Collège de France et du Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) a réalisé une première mondiale : la mise au point expérimentale d'un cristal photonique temporel, un matériau dont les propriétés optiques peuvent être fortement et périodiquement modulées dans le temps à des échelles ultra-rapides. Publiée dans la revue *Nature*, cette découverte ouvre la voie à l'informatique optique ultra-rapide, à de nouveaux systèmes de télécommunications et, à terme, à de nouveaux types de lasers térahertz. Cette avancée majeure s'appuie sur la source térahertz superradiante TELBE du HZDR pour permettre ce nouveau régime d'interaction lumière-matière dans la gamme des térahertz.

Une avancée majeure : du contrôle spatial au contrôle temporel

Maîtriser les propriétés de la lumière lorsqu'elle interagit avec les matériaux est à la base de nombreuses découvertes et d'avancées technologiques, qu'il s'agisse des fibres optiques dans les télécommunications, des lasers comme sources lumineuses ou encore des capteurs utilisés en chimie et en biologie.

À l'École polytechnique, des scientifiques posent les bases d'une technologie qui reste encore très peu exploitée : Yannis Laplace, Professeur à l'École polytechnique, et son équipe du

Laboratoire des solides irradiés (LSI) développent de nouveaux dispositifs photoniques permettant de contrôler la lumière dans la gamme de fréquences des térahertz (THz). La recherche sur cette bande de fréquences, 1 000 fois plus rapides que celles utilisées pour les composants électroniques, progresse rapidement et pourrait ouvrir une nouvelle fenêtre d'observation de la matière.

« La gamme des THz représente la frontière entre les technologies électroniques et optiques », explique Yannis Laplace. « C'est un domaine qui regorge d'opportunités tant pour la science que pour la société, mais qui reste encore sous-développé sur le plan technologique par rapport à ses homologues électriques et optiques. La création de cristaux photoniques pourrait ouvrir la voie à l'exploration cette gamme de fréquence. »

En physique, le terme de cristaux désigne un système dont les constituants sont organisés de façon régulière et périodique, et dont l'arrangement détermine grandement les propriétés des matériaux qui le constitue. Les cristaux photoniques ont la particularité d'affecter principalement les photons : en ajustant habilement l'indice de réfraction et les formes des différents matériaux, ils peuvent bloquer, guider ou amplifier des longueurs d'onde spécifiques, à l'instar des semi-conducteurs qui contrôlent les électrons.

Dans des études précédentes, cette équipe de recherche avait démontré comment la manipulation de la température ou des champs magnétiques pouvait modifier les propriétés de capture de la lumière des cristaux photoniques, mais jusqu'à présent, ce contrôle était statique dans le temps.

Ces nouveaux travaux présentent les tout premiers cristaux photoniques temporels, dans lesquels les propriétés optiques du matériau (par exemple, la réflectivité ou la fréquence de résonance) sont modulées de manière dynamique à l'échelle de la picoseconde, ce qui est comparable au cycle d'oscillation de la lumière elle-même.

« En permettant aux cristaux photoniques de varier dans le temps, nous ouvrons une nouvelle dimension pour le contrôle de la lumière — et une voie inédite vers l'amplification et l'émission laser. Cela pourrait changer la donne pour les technologies optiques aux fréquences térahertz et au-delà », explique Tingwen Guo, doctorant à l'École polytechnique et auteur principal de la publication.

Surmonter un défi technique de taille

Pour parvenir à modifier les propriétés des photons dans le temps, les scientifiques ont dû mettre au point un dispositif unique en son genre et d'une grande complexité. Avec l'aide du Laboratoire Albert Fert de Thales et du laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (PICM) de l'École polytechnique, ils ont créé un type particulier de cristal photonique, appelé « métamatériau plasmonique ».

Celui-ci se compose de structures crénelées en or à l'échelle micrométrique, sous lesquelles se trouve une couche isolante, puis un matériau semi-conducteur constitué d'un mélange d'indium et d'antimoine. Ces crénelures agissent comme des cavités qui piègent les photons de lumière entre la couche d'or et la couche semi-conductrice ; l'excitation de la surface de ce semi-conducteur donne lieu à des « plasmons de surface », où les électrons se comportent comme une sorte d'onde collective capable de capturer la lumière et d'entretenir ses oscillations.

En envoyant des impulsions laser térahertz vers ce dispositif, grâce à la source térahertz intense et à fréquence modulable TELBE installée à l'accélérateur ELBE de l'HZDR, les chercheurs ont démontré que les propriétés optiques du matériau, en particulier sa capacité à réfléchir la lumière, étaient modulées de manière très intense sur des échelles de temps très courtes. Il s'agit là d'un exploit expérimental, car il était extrêmement difficile d'obtenir une modulation

à la fois très forte (comme forcer un objet à émettre une couleur totalement différente) et très rapide (à l'échelle de la picoseconde, soit un milliardième de milliardième de seconde).

« *La capacité unique de TELBE à générer des impulsions térahertz à champ élevé et à phase stable a été déterminante* », a confirmé Jan-Christoph Deinert, coordinateur de l'installation TELBE. « *Sans cette infrastructure, il aurait été impossible d'obtenir la modulation cohérente et ultra-rapide nécessaire au régime des cristaux photoniques temporels.* »

Au-delà des observations expérimentales, un modèle théorique développé par Marco Schiró, chercheur au Collège de France, et son équipe a confirmé les résultats expérimentaux, détaillant le comportement des photons au sein du dispositif. Il a également été démontré que la modulation temporelle réduisait de moitié la dissipation des photons au sein du métamatériau, c'est-à-dire la proportion de photons perdus car non réfléchis et traversant la surface du matériau.

« *Cette théorie permet non seulement de reproduire l'expérience, mais elle fournit également les bases qui guideront les futures découvertes dans ce domaine* », s'est réjoui Marco Schiró.

Ouvrir la voie à de futures applications optiques

La prochaine étape consistera à déterminer comment limiter davantage la dissipation des photons à travers les cristaux, puis à amplifier le nombre de photons piégés au sein du dispositif. À un niveau d'amplification élevé, ceux-ci pourraient constituer la source de nouveaux lasers dotés d'une modularité sans précédent, permettant de choisir à loisir par exemple la longueur d'onde désirée.

Cette avancée pourrait transformer notre utilisation de la lumière dans le domaine technologique, en particulier dans la gamme des térahertz. En permettant la modulation de la lumière sur des échelles de temps aussi courtes, ces cristaux de temps photoniques nous rapprochent de nouveaux types de lasers ultra-rapides destinés à l'imagerie médicale et aux communications, et permettent d'ajuster à la demande les propriétés de la lumière, comme changer instantanément sa « couleur » ou son intensité, pour des systèmes optiques plus intelligents et plus adaptables.

Retrouvez l'article dans son intégralité [**ici**](#).



CONTACTS PRESSE

École Polytechnique

Laëtitia PIRIOU

+ 33 1 69 33 38 70 / + 33 6 66 53 56 10

laetitia.pirou@polytechnique.edu

HZDR

Simon Schmitt

Phone: +49 351 260 3400 / Mobile: +49 175 874 2865

s.schmitt@hzdr.de



À PROPOS DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE / L'École polytechnique est un établissement d'enseignement supérieur et de recherche qui cultive la pluridisciplinarité et l'excellence scientifique. L'X associe recherche, enseignement et innovation au meilleur niveau scientifique et technologique. Sa formation promeut une culture d'excellence à forte dominante en sciences, ouverte sur une grande tradition humaniste. À travers son offre de formation – bachelor, cycle ingénieur polytechnicien,

master, programmes gradués, programme doctoral, doctorat, formation continue – l'École polytechnique forme des décideurs à forte culture scientifique pluridisciplinaire en les exposant à la fois au monde de la recherche et à celui de l'entreprise. Avec ses 23 laboratoires, dont 22 sont unités mixtes de recherche avec le CNRS, le centre de recherche de l'X travaille aux frontières de la connaissance sur les grands enjeux interdisciplinaires scientifiques, technologiques et sociétaux. L'École polytechnique est membre fondateur de l'Institut Polytechnique de Paris.

www.polytechnique.edu

À PROPOS DU HZDR / Le Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) est un centre de recherche allemand indépendant qui mène des travaux dans les domaines de l'énergie, de la santé et de la matière. Nous nous attachons à répondre aux questions suivantes : Comment exploiter l'énergie et les ressources de manière efficace, sûre et durable ? Comment visualiser, caractériser et traiter plus efficacement les tumeurs malignes ? Comment la matière et les matériaux se comportent-ils sous l'influence de champs puissants et à l'échelle microscopique ? Pour aider à répondre à ces questions de recherche, le HZDR exploite des installations à grande échelle, qui sont également utilisées par des chercheurs invités : le Centre des faisceaux ioniques, le Laboratoire des champs magnétiques élevés de Dresde et le Centre ELBE pour les sources de rayonnement à haute puissance. Le HZDR est membre de l'Association Helmholtz et compte sept sites (Dresde, Freiberg, Görlitz, Grenoble, Leipzig, Rostock, Schenefeld près de Hambourg) avec près de 1 500 collaborateurs, dont environ 700 scientifiques, parmi lesquels 200 doctorants.

www.hzdr.de