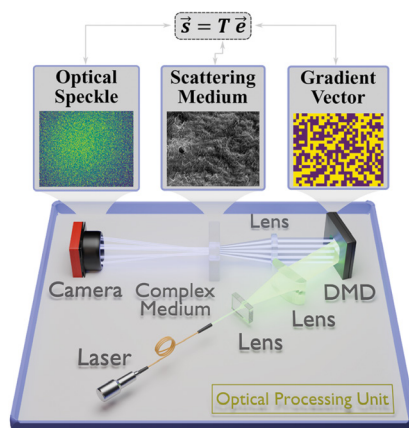


Entraîner optiquement des architectures modernes d'intelligence artificielle ?

L'apprentissage profond moderne s'appuie presque exclusivement sur des accélérateurs matériels électroniques (GPU) et sur l'algorithme de rétropropagation de l'erreur (« back-propagation »). Cette méthode d'entraînement entraîne des goulots d'étranglement énergétiques et temporels qui limitent potentiellement la taille et les performances des réseaux de neurones actuels.

Néanmoins des alternatives existent. Des chercheurs du Laboratoire Kastler Brossel, en collaboration notamment avec l'entreprise LightOn, ont récemment surmonté cette barrière en implémentant expérimentalement un algorithme d'entraînement appelé "alignement direct de la rétroaction" (Direct Feedback Alignment - DFA) sur une plateforme hybride optoélectronique. Le dispositif utilise une unité de traitement optique (OPU) exploitant la diffusion multiple de la lumière pour effectuer des multiplications de matrices aléatoires à très grande échelle, l'opération centrale de cet algorithme, permettant ainsi d'entraîner un modèle classique sur GPU. Cette approche innovante a permis d'entraîner optiquement des architectures de pointe dépassant le milliard de



paramètres. L'équipe a ainsi démontré de bonnes performances sur une grande variété de tâches : traitement du langage naturel (Transformers), vision par ordinateur appliquée aux projections climatiques (Vision Transformers), et synthèse

d'images *via* des modèles de diffusion. L'étude du passage à l'échelle montre de plus que pour des réseaux ultra-profonds et très larges, cette méthode hybride pourrait permettre de réduire le temps d'entraînement par rapport à l'approche classique basée sur de la back-propagation sur GPU. Ces résultats ouvrent une voie concrète pour soutenir la croissance exponentielle de l'intelligence artificielle au-delà des architectures traditionnelles de von Neumann. ●

RÉFÉRENCE

Z. Wang, K. Müller, M. Filipovich, J. Launay, R. Ohana, G. Pariente, S. Mokaadi, C. Brossollet, F. Moreau, A. Cappelli, I. Poli, I. Carron, L. Daudet, F. Krzakala, S. Gigan, "Streamlined optical training of large-scale modern deep learning architectures with direct feedback alignment," *PNAS* **123** (20), e2532022123 (2026), <https://doi.org/10.1073/pnas.2532022123>.

Comment mieux absorber la lumière du soleil ? Les limites fondamentales de l'absorption large bande

Optimiser l'absorption de la lumière solaire avec un minimum de matériau constitue à la fois une question théorique générale et un enjeu pour réduire l'impact environnemental et les coûts des cellules solaires.

Dans les cellules solaires, la diffusion lambertienne est souvent considérée comme la stratégie de référence pour piéger la lumière. Pourtant, elle ne représente pas une limite fondamentale pour l'absorption. De plus, les modèles d'absorption historiques sont en règle générale restreints au domaine de l'optique géométrique et au régime de faible absorption. Une équipe de recherche du C2N, de l'IPVF et du PROMES vient de proposer un modèle général pour l'absorption multi-résonante d'un système ouvert dissipatif. Il permet de déterminer la

limite fondamentale de l'absorption large bande dans une couche d'épaisseur d , qui s'exprime simplement sous la forme d'une loi de Beer-Lambert généralisée : $A = 1 - \exp(-Fad)$, où a est le coefficient d'absorption et F le facteur d'augmentation du trajet optique.

Cette étude apporte une réponse à un débat ancien sur la meilleure stratégie de piégeage de la lumière dans les cellules solaires. Pour une illumination provenant de toutes les directions (isotrope), la limite obtenue est $F = 4n^2$, où n est l'indice de réfraction. Ce résultat étend la limite lambertienne à l'optique ondulatoire et

aux fortes absorptions. Pour une illumination restreinte angulairement, F peut être augmenté jusqu'à $F = 8\pi n^2/\sqrt{3}$ en utilisant une absorption multi-résonante induite par des motifs périodiques hexagonaux. Ces résultats offrent de nouvelles perspectives pour optimiser l'absorption de la lumière solaire et pour réduire la quantité de matériau, ouvrant la voie à des cellules solaires ultrafines et efficaces. ●

RÉFÉRENCES

S. Collin, M. Giteau, "Upper Bounds on Broadband Absorption and Application to Solar Cells," *PRX Energy* **5**, 023006, 2026 <https://doi.org/10.1103/1tzg-hgqx>

Transmission sélective d'images en milieu diffusant grâce à l'intrication quantique

Transmettre fidèlement des informations spatiales, comme l'image d'un objet, à travers des milieux désordonnés (tissus biologiques, turbulences atmosphériques ou fibres optiques multimodes) constitue un défi majeur de l'optique moderne.

Si les techniques actuelles de façonnage du front d'onde à l'aide de modulateurs spatiaux de lumière (SLM) permettent de compenser la diffusion, elles consistent généralement à inverser le processus de manière classique et trouvent leurs limites lorsque le milieu est trop complexe ou épais. Des chercheurs de l'Institut des Nanosciences de Paris (INSP), du Laboratoire Kastler Brossel (LKB) et de l'Université de Glasgow ont proposé une approche originale pour transmettre des images à travers des milieux diffusants en associant le façonnage du front d'onde aux propriétés quantiques de la lumière. En particulier, ils ont démontré qu'il était possible de rendre un milieu diffusant transparent uniquement pour une information portée par des paires de photons intriqués, alors qu'il demeure totalement opaque pour un faisceau de lumière classique.

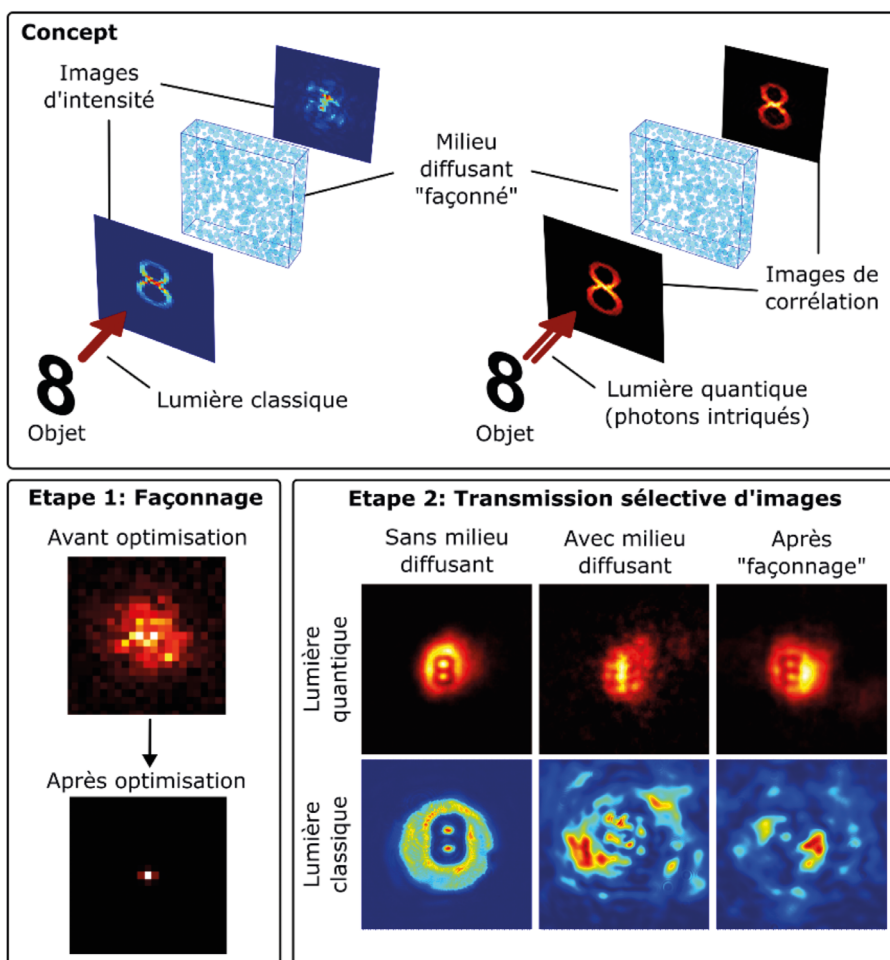
Le principe repose sur l'optimisation d'un masque de phase appliqué au SLM afin de préserver spécifiquement les corrélations spatiales des photons intriqués après leur propagation à travers le désordre. L'intrication agit ainsi comme une clé physique : l'image encodée sur les paires de photons intriqués est préservée à la sortie dans les corrélations, tandis que celle transportée par une lumière classique, soumise au même façonnage, voit son information systématiquement détruite. Le milieu complexe n'est alors plus un simple obstacle dont on cherche à s'affranchir, mais devient également un composant actif et programmable capable de discriminer l'information classique de l'information quantique. Cette

avancée fondamentale contribue à l'amélioration des techniques d'imagerie à travers les milieux diffusants, avec un potentiel pour l'imagerie biomédicale, mais également pour les communications quantiques sécurisées, qui pourraient être protégées des signaux classiques parasites grâce à ce type de façonnage. ●

RÉFÉRENCES

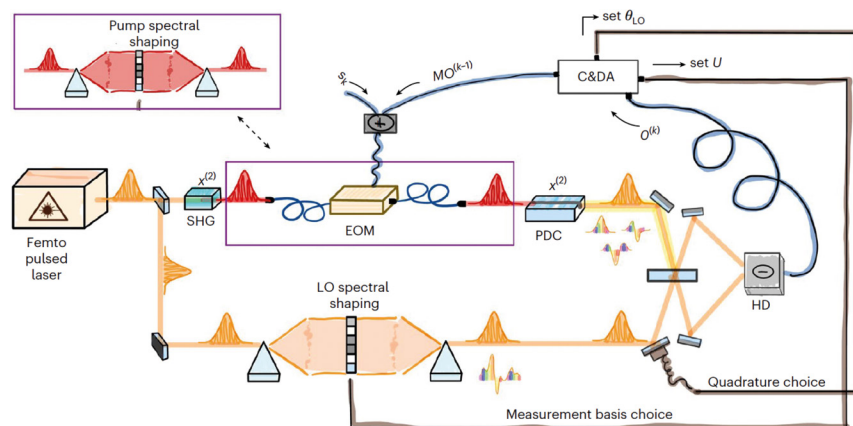
- B. Courme, C. Vernière, M. Joly, D. Faccio, S. Gigan et H. Defienne, "Non-classical optimization of entangled photons through complex media," *Optica* (2026). <https://doi.org/10.1364/OPTICA.583959>
- C. Vernière, R. Guitter, B. Courme et H. Defienne, "Entanglement-enabled image transmission through complex media," *Nature Physics* (2026). <https://doi.org/10.1038/s41567-026-03265-9>

Concept : Un milieu diffusant « façonné » à l'aide d'un modulateur spatial de lumière agit comme un filtre sélectif. Il diffuse la lumière classique (images d'intensité) tout en permettant la transmission de l'information spatiale portée par la lumière quantique (images de corrélation issues de photons intriqués).



Un ordinateur à réservoir photonique quantique à variables continues doté d'une mémoire contrôlable

Des marchés financiers aux signaux chaotiques, la prédiction de phénomènes complexes qui évoluent dans le temps constitue un défi majeur pour l'apprentissage automatique.



Protocole QRC, dispositif expérimental : laser femtoseconde, génération de seconde harmonique SHG, modulateur électro-optique EOM ou mise en forme d'impulsion (Pumps Spectral shaping), conversion paramétrique descendante PDC, détection homodyne HD.

Le *reservoir computing* offre un cadre élégant : au lieu d'entraîner l'ensemble d'un réseau neuronal, on exploite la dynamique naturelle d'un système physique complexe (le « réservoir ») et seule la couche de sortie est optimisée, réduisant considérablement le coût de l'apprentissage. Des chercheurs du Laboratoire Kastler Brossel (LKB, Paris) et de l'IFISC (Palma de Majorque) ont démontré expérimentalement une plateforme de calcul à réservoir quantique (QRC) photonique à variables continues, dotée d'une mémoire en temps réel. Le réservoir est un état quantique multimode de la lumière, généré de manière déterministe par un processus optique paramétrique, dans lequel plusieurs bandes de fréquence sont intriquées. L'information est encodée *via* la mise en forme programmable de la phase du laser de pompe et lue par

détection homodyne sélective en mode. La mémoire est assurée par une rétroaction électro-optique en temps réel, conférant une *fading memory* contrôlable, indispensable pour capturer les dépendances temporelles. L'exploitation de la structure multimode intriquée améliore à la fois la mémoire et l'expressivité du système, permettant d'accomplir des tâches non linéaires — vérification de parité et prédiction de signaux chaotiques — avec de meilleures performances que les approches classiques équivalentes. ●

RÉFÉRENCES

I. Paparelle, J. Henaff, J. García-Bení, É. Gillet, D. Montesinos, G. L. Giorgi, M. C. Soriano, R. Zambrini, V. Parigi, "Experimental memory control in continuous-variable optical quantum reservoir computing," *Nature Photonics* **20**, 413–420 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41566-026-01880-9>



VIDEO-COLORIMETRE

POUR MESURE DE LUMINANCE ET DE COULEUR PAR CARTOGRAPHIE

Excellent rapport qualité/prix

Avec sa grande diversité d'objectifs, son capteur CMOS et ses filtres tristimulus de très haute qualité, le vidéo-colorimètre LMK 6 est un des produits phares de la gamme TECHNOTEAM

CARACTERISTIQUES

Capteur avec résolution de 5, 12 ou 30 millions de pixels.

Filtres tristimulus de haute qualité.

Large choix d'objectifs.

Léger et compact.

APPLICATIONS

Mesure de façades, feux, voyants, dans le domaine de l'automobile et avionique.

Mesure de luminance et d'éblouissement en tunnel et sur route.

Mesure en environnement virtuel (AR-VR).

LED / SSL ...



ScienTec c'est aussi, la distribution de :
Luxmètres,
Photomètres,
Chromamètres,
Vidéo-colorimètres,
Photogoniomètres,
Sources de référence...

