

BIBLIOGRAPHIE

M. E. Mann *et al.*, **Projected changes in persistent extreme summer weather events : The role of quasi-resonant amplification**, *Science Advances*, vol. 4(10), article eaat3272, 2018.

D. Coumou *et al.*, **The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation**, *Nature Communications*, vol. 9, article 2959, 2018.

M. E. Mann *et al.*, **Influence of anthropogenic climate change on planetary wave resonance and extreme weather events**, *Scientific Reports*, vol. 7, article 45242, 2017.

J. Master, **Le jet-stream polaire se dérègle-t-il ?**, *Pour la Science*, n° 449, pp. 56-63, mars 2015.

de l'AQR, voire le réduirait – et finalement adoucissait le jet-stream.

Cette évolution semble être une bonne nouvelle. Mais il s'agit en réalité d'un pacte faustien. L'effet positif quasi immédiat se paye à long terme. Au milieu du siècle, les aérosols auront presque tous disparu et, à partir de ce moment, la hausse des gaz à effet de serre pourra livrer tout son potentiel en termes d'élévation des températures. Une fois encore, la hausse s'accélérera dans la région polaire. L'amplification arctique reprendra et les événements de l'AQR – les régimes climatiques durables, intenses, chauds, secs et humides – se multiplieront à nouveau. À la fin du siècle, ils seront environ 1,5 fois plus fréquents qu'aujourd'hui. Le changement sera particulièrement marqué en été, dans les latitudes moyennes. Or c'est là que vivent la plupart des populations et où l'on fait pousser de nombreuses cultures – dont beaucoup résistent mal à la canicule.

LE FUTUR EST ENTRE NOS MAINS

Y a-t-il une issue? Si le monde agit maintenant pour sortir de sa passivité et s'engage vers une diminution significative des émissions de carbone dans l'atmosphère, nous pouvons encore éviter un réchauffement catastrophique de 2 °C, ce qui nous épargnerait probablement

une aggravation des événements AQR. La voie la plus sûre (et la plus économique) consiste à limiter immédiatement l'usage de combustibles fossiles et les autres activités humaines qui enrichissent l'atmosphère en gaz à effet de serre.

Le monde doit parfois prendre des décisions en dépit des incertitudes. Certaines simulations indiquent une augmentation beaucoup plus importante (plus de trois fois) du nombre d'événements AQR, tandis que d'autres montrent en réalité une diminution. La disparité des résultats provient en grande partie des différentes façons dont les modèles climatiques traitent les aérosols. Les prévisions finiront-elles par converger? Nous ne le savons pas encore. On peut soutenir que, compte tenu de l'incertitude et du risque potentiel, si le pire des scénarios survient, la solution la plus sage consiste à réduire fortement les émissions.

Bien entendu, il serait utile de réduire les incertitudes. Cela revient, au moins en partie, à améliorer notre compréhension de la physique. En l'occurrence celle des aérosols et de la façon dont ils diffusent le rayonnement solaire – des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Encore une fois, cela requiert de comprendre la physique du comportement des ondes. La boucle est bouclée. ■





**MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE
NATURELLE**

exposition
3 avril 2019 —
5 janvier 2020

#ExpoOcean

Océan

**UNE
PLONGÉE
INSOLITE**

**GRANDE GALÉRIE
DE L'ÉVOLUTION**

**POUR LA
SCIENCE**

Dompter les photons grâce à la topologie

Les performances des techniques de communication fondées sur des systèmes optiques plafonnent. Mais un domaine de recherche récent, la photonique topologique, ouvre la voie à un nouvel élan d'innovations.

© M. A. Bandres et al., Science, vol. 359, eaar4005, 2018

En 2018, Mordechai Segev et des collègues ont mis à profit des propriétés dites topologiques pour guider la lumière (*en rouge sur ce schéma*) sur les bords d'un réseau de résonateurs optiques annulaires mesurant 125 micromètres de côté, et ainsi obtenir une émission de lumière laser (*en haut à gauche*).

L'ESSENTIEL

> Grâce aux outils mathématiques de la topologie, les physiciens expliquent des propriétés de conductivité exotiques de certains matériaux, où les électrons circulent uniquement à leur surface et dans une unique direction.

> L'enjeu de la photonique topologique est de s'inspirer

de ces matériaux pour concevoir des systèmes où la lumière ne peut se propager que dans une seule direction.

> Il serait alors possible de réaliser des micro-isolateurs optiques, des éléments indispensables pour fabriquer des supercalculateurs optiques très performants.

LES AUTEURS



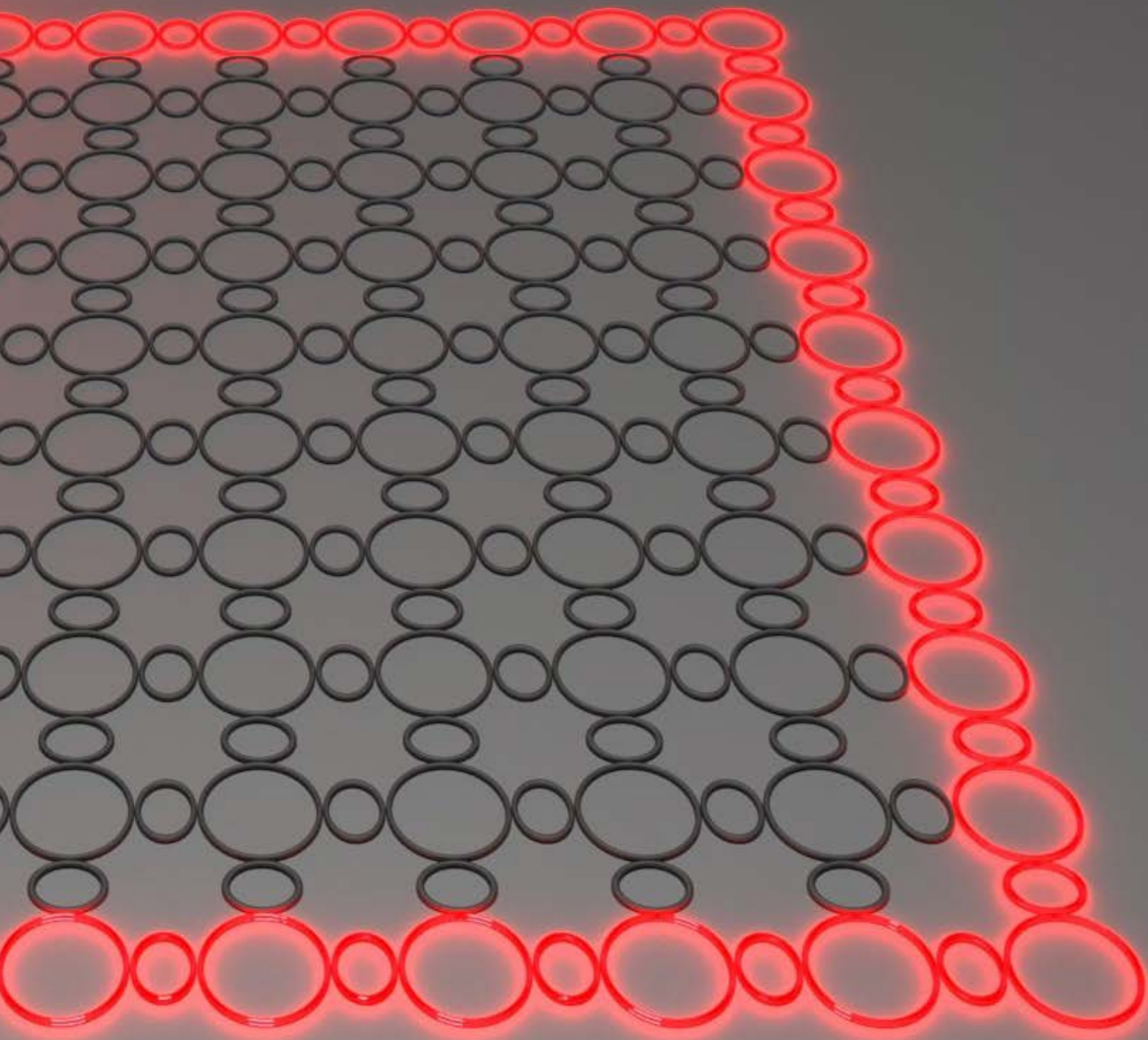
OLIVIER BLEU
doctorant
à l'institut Pascal,
à Clermont-Ferrand



DMITRY SOLNYSHKOV
enseignant
chercheur à
l'institut Pascal



GUILLAUME MALPUECH
directeur de
recherche du CNRS
à l'institut Pascal



Depuis les années 1970, la société est entrée dans une «ère de l'information» où les technologies jouent un rôle crucial pour diffuser et traiter de grandes quantités de données (du texte, des images, des vidéos, du son, etc.). Ainsi, alors qu'en 1986 les capacités d'échange d'information par les réseaux de télécommunication à travers la planète étaient de 2,2 exabits par an (1 exabit correspond à 10^{18} bits), elles sont passées à 520 exabits par an en 2007 et elles continuent de croître à grande vitesse.

Cependant, les techniques actuelles de transport et de traitement de l'information se rapprochent de leurs limites. Comment alors répondre à la demande toujours croissante? Une piste repose sur les systèmes optiques, mais des obstacles limitent encore leurs performances. Un domaine de recherche récent, la photonique topologique, pourrait résoudre certaines de ces difficultés. Il s'inspire d'outils mathématiques pour développer de nouvelles approches et des innovations prometteuses.

Les techniques actuelles de transport de l'information s'appuient sur deux inventions du XIX^e siècle: la radio, inventée par l'Italien Guglielmo Marconi en 1894, et le télégraphe, breveté par l'Américain Samuel Morse en 1840.

La première repose sur la maîtrise des ondes électromagnétiques et a permis de transporter des informations de la façon la plus rapide qui soit: à la vitesse de la lumière. On a alors utilisé des ondes hertziennes, émises et détectées *via* des antennes où circulent des courants électriques alternatifs. Grâce à différents progrès techniques, ces antennes ont été miniaturisées: avec une taille de l'ordre du centimètre, elles émettent à des fréquences plus élevées, dans le domaine du gigahertz. Elles équipent aujourd'hui nos téléphones portables et les bornes wifi. Si le débit de transfert d'informations atteint 100 mégabits par seconde, la distance de propagation de ces ondes est limitée à quelques centaines de mètres.

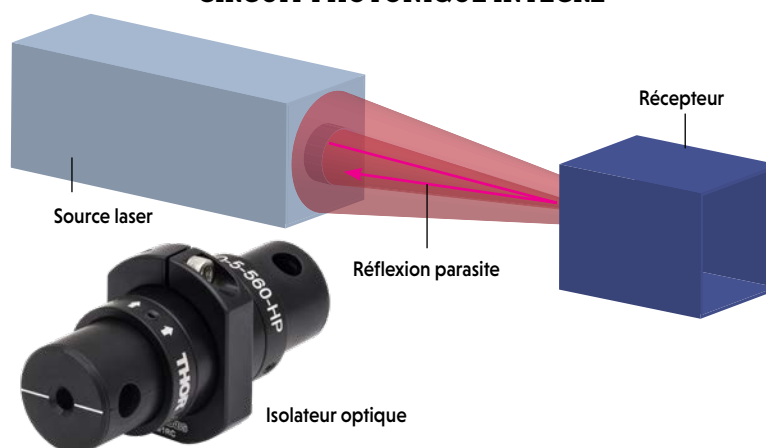
LA RÉVOLUTION DU LASER

Le télégraphe est fondé sur le transport d'un signal électrique par des câbles conducteurs tels que ceux utilisés aujourd'hui par le réseau téléphonique. Au cours des décennies 1960 et 1970, plusieurs découvertes dans le domaine de la photonique ont révolutionné cette technique en la transposant à la lumière. Un laser crée un intense faisceau de lumière dont les modulations portent l'information, lumière que guident et acheminent des fibres optiques, à des longueurs d'onde dites télécoms (environ 1,5 micromètre), sur des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Ces fibres peuvent être mises en parallèle, et

chacune a un débit pouvant atteindre 100 gigabits par seconde, au moins 1000 fois supérieur au transport par ondes dans l'air et au transport électrique par câble.

Si le transport de l'information est un enjeu majeur, son traitement en est un autre tout aussi important. La méthode la plus efficace pour manipuler les données, codées sous forme binaire, repose sur l'utilisation de transistors électriques. Ces dispositifs sont des sortes d'interrupteurs dont la conductivité est commandée par une tension électrique. En réalisant un circuit composé d'un grand nombre de ces

CIRCUIT PHOTONIQUE INTÉGRÉ



interrupteurs, on obtient un processeur logique: un ordinateur. La capacité de calcul, et donc de traitement de l'information, est donnée par le nombre de transistors que l'on peut intégrer à un processeur et la fréquence de cadencage, c'est-à-dire la vitesse à laquelle le système est capable de manipuler des données. Les premiers ordinateurs fabriqués avant la Seconde Guerre mondiale utilisaient des interrupteurs mécaniques. Puis des composants purement électriques, des tubes à vide, ont été utilisés. Comme ces interrupteurs n'étaient pas petits, il était impossible d'en rassembler plus de quelques dizaines de milliers.

La véritable révolution est venue avec l'utilisation de transistors constitués de matériaux dits semi-conducteurs qui ont permis une miniaturisation extrême (jusqu'à 10 nanomètres). Des milliards de ces transistors sont aujourd'hui intégrés sur un seul processeur. On peut faire fonctionner en parallèle des milliers de ces processeurs, comme c'est le cas dans les cartes graphiques. La fréquence de cadencage atteint quelques gigahertz (quelques milliards de bits par seconde), mais cette limite ne sera pas dépassée: les perspectives de progrès dans le cadre de la technologie actuelle sont faibles, alors que les besoins en calculs du monde moderne augmentent de façon exponentielle.

Des approches et des concepts nouveaux sont à l'étude, par exemple l'informatique

Dans un circuit photonique standard, un laser sert de source de lumière qui est transmise à un récepteur ou à une fibre optique. Mais à chaque interface, une partie de la lumière est réfléchie et retourne dans la cavité laser dont elle perturbe le fonctionnement. On peut insérer un isolateur optique à la sortie du laser pour bloquer la lumière parasite. Mais sa taille centimétrique est un obstacle pour la conception de microcircuits photoniques.