

PHYSIQUE

LA TOPOLOGIE INSPIRE UN NOUVEAU TYPE DE LASERS

En transposant à la photonique les propriétés électroniques de matériaux qualifiés d'isolants topologiques, des chercheurs ont conçu des lasers particulièrement peu sensibles aux défauts.

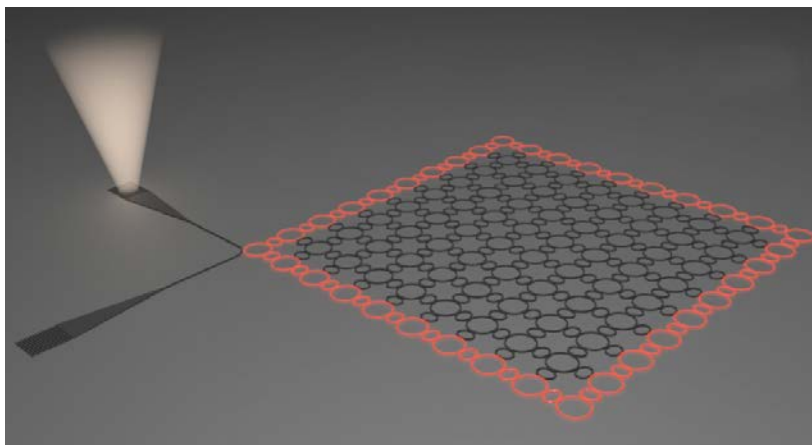
Transformer des tasses en beignets, ou inversement, a longtemps été l'apanage de la topologie, partie des mathématiques qui s'intéresse aux propriétés conservées lorsqu'on déforme

de façon continue un objet. À partir des années 1970, les physiciens ont remarqué que la topologie leur permettait de comprendre certains phénomènes exotiques en science des matériaux. L'idée d'utiliser la topologie a depuis fait son chemin également en photonique, domaine où l'on étudie les dispositifs manipulant les signaux optiques. Mordechai Segev, du Technion, en Israël, et ses collègues ont utilisé des «isolants topologiques photoniques» pour concevoir un nouveau genre de lasers, qui promettent d'être plus performants et plus simples à utiliser que les lasers existants.

C'est en 2005 que Charles Kane et Eugene Mele, de l'université de Pennsylvanie, ont découvert les «isolants topologiques». Dans un matériau isolant classique, le courant électrique ne peut pas circuler. Les isolants topologiques se comportent comme des isolants, sauf à leur surface, qui est conductrice. L'un de leurs grands avantages est que leurs propriétés concernent l'ensemble du matériau et ne sont pas définies par l'organisation locale des atomes. Ainsi, la présence d'un défaut local n'affecte pas les propriétés topologiques du matériau. Grâce à cette «protection topologique», le courant d'électrons à la surface des isolants topologiques circule sans perturbations.

On comprend donc l'intérêt qu'il y a à développer des dispositifs exploitant de telles propriétés. C'est en particulier le cas pour les systèmes photoniques intégrés, où des lasers émettent leur lumière vers des fibres optiques ou d'autres composants. En raison des réflexions au sein du système, une partie de la lumière revient dans le laser et en perturbe le fonctionnement. Or les dispositifs conçus pour éviter ces effets sont volumineux et ne se prêtent pas à la miniaturisation.

D'où l'idée de développer des lasers topologiques où la lumière réfléchie ne pourrait pas pénétrer dans le dispositif, grâce à des propriétés



Dans ce réseau bidimensionnel de résonateurs optiques circulaires, la lumière ne se propage que sur le bord (en rouge) du système, du fait des propriétés topologiques de ce dernier, et s'y accumule. La lumière laser engendrée dans cette «cavité» constituée par le bord est de grande qualité et peut être extraite (à gauche).

topologiques interdisant cette direction de propagation. En 2017, d'après une idée proposée par le groupe de Guillaume Malpuech, de l'Institut Pascal, à Clermont-Ferrand, l'équipe d'Alberto Amo et Jacqueline Bloch, du C2N, à Marcoussis, a réalisé le premier laser topologique à une dimension. Et la même année, l'équipe de Boubacar Kanté, de l'université de Californie à San Diego, a conçu un dispositif bidimensionnel où le comportement d'isolant topologique vis-à-vis des photons est mis en place grâce à un champ magnétique.

Le laser mis au point par l'équipe de Mordechai Segev se passe de champ magnétique. Il est fondé sur un cristal photonique: un arrangement périodique de résonateurs optiques circulaires (des guides d'onde circulaires où l'énergie s'accumule par interférences constructives). Cet arrangement périodique permet de reproduire pour les photons le même ordre topologique que pour les systèmes électroniques: la lumière circule à la surface du cristal photonique suivant des modes unidirectionnels protégés topologiquement. Cette région constitue l'analogue d'une cavité optique, où la lumière laser s'accumule. Le faisceau laser extrait de ce dispositif est alors de très haute qualité, et il est insensible aux défauts éventuels du système. ■

SEAN BAILLY

G. Harari *et al.*, *Science*, en ligne le 1^{er} février 2018 ;
M. A. Bandres *et al.*, *ibid.*

EN BREF

TÉLÉTHROMBOSE

Une étude menée depuis 1987 auprès de 15 158 Américains illustre les dangers de thrombose en lien avec des activités sédentaires, notamment le fait de regarder beaucoup la télévision. Yasuhiko Kubota, de l'université du Minnesota, a montré que le risque de faire une thrombose veineuse, ou phlébite, était multiplié par 1,7 pour les personnes qui passent beaucoup de temps devant la télévision, par rapport à ceux qui ne la regardent pas ou très rarement. Et le risque reste assez élevé même si ces personnes exercent une activité physique par ailleurs.

LANGUE DE PARTAGE

Joanne Yager et Niclas Burenhult, de l'université de Lund, en Suède, ont découvert en Malaisie une nouvelle langue parlée par seulement 280 personnes. Ces chasseurs-cueilleurs sédentarisés étaient connus, mais leur langue, le jedek, était passée inaperçue. Son vocabulaire reflète certains aspects de la vie de ce groupe : il n'y a pas de mots pour définir la propriété ou les actions d'acheter et de vendre. En revanche, de nombreux mots expriment le partage et l'échange.

L'EXIL DES MANCHOTS

Grâce à une analyse génétique, Céline Le Bohec, de l'université de Strasbourg, et ses collègues signalent que le réchauffement climatique est probablement une mauvaise nouvelle pour les manchots royaux qui vivent sur les îles de Crozet, Kerguelen, Marion et du Prince-Édouard. L'analyse montre que leurs populations ont été très affectées par les changements climatiques lors des 50 000 dernières années. L'un des risques est que leurs sources de nourriture, les bancs de poissons à proximité, migrent vers le sud, hors de leur portée...

BIOPHYSIQUE

LANGUE POILUE, PIÈGE À NECTAR

Le glossophage de Pallas (*Glossophaga soricina*) est une chauve-souris d'Amérique du Sud qui, comme les colibris, se nourrit de nectar en se positionnant en vol stationnaire face à de grandes fleurs. Il y plonge sa langue qui s'étire de façon spectaculaire pour capter le liquide. Cette technique nécessite une importante dépense d'énergie pour l'animal. Il faut donc que la prise alimentaire soit efficace. Si le colibri forme un tube avec sa langue pour aspirer le nectar, la chauve-souris utiliserait les poils dont l'extrémité de sa langue est munie. Pour évaluer leur efficacité, Alice Nasto, Pierre-Thomas Brun et Anette Hosoi, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), aux États-Unis, ont conçu un matériau qui reproduit la structure de cette langue.

Lorsque la langue est au repos, les poils sont à plat sur la surface. Mais quand la langue atteint son extension maximale, les poils se dressent perpendiculairement à la surface grâce à un afflux de sang dans la langue. Pour imiter ce système, Alice Nasto et ses collègues ont fabriqué des bandes de caoutchouc munies de poils verticaux de 2,7 millimètres. En trempant ces « langues » dans de l'huile de silicone, les chercheurs ont mesuré le volume de liquide



Le glossophage de Pallas utilise sa langue extensible pour s'abreuver du nectar au fond des fleurs.

pris dans le matériau. Une densité de poils trop faible piège une petite quantité de liquide, tandis qu'un réseau de poils trop dense empêche la pénétration du liquide, donc son extraction. Pour déterminer la densité optimale permettant de piéger un maximum de fluide, les chercheurs ont modélisé la langue poilue comme un matériau poreux. Ils ont ainsi montré que la chauve-souris, mais aussi l'abeille et la souris à miel (un marsupial nectarivore d'Australie) ont, sur la langue, une densité de poils quasi optimale. Ce qui confirme l'avantage adaptatif conféré à ces espèces par leurs poils. ■

S. B.

A. Nasto et al., *Physical Review Fluids*, vol. 3, article 024002, 2018

GÉOPHYSIQUE

MOBILITÉ POUR POINT CHAUD

Les points chauds correspondent à des remontées de roche chaude depuis les profondeurs du manteau terrestre, qui transpercent la croûte à leur aplomb. On supposait que la source profonde d'un point chaud est immobile. Ainsi, comme les plaques tectoniques se déplacent, les points chauds dessinent à la surface des plaques des chaînes de montagnes (sous-marines), des volcans ou des îles bien alignées, à l'image de l'archipel de Hawaï. Cependant, le tracé du point chaud de Hawaï présente des anomalies. La source aurait-elle bougé ?

Kevin Konrad, de l'université d'État de l'Oregon, et ses collègues ont répondu en comparant la trace de ce point chaud avec deux autres traces de même nature présentes sur la plaque Pacifique. Ils ont étudié comment les écarts, en surface, entre les trois points chauds ont varié au



L'archipel de Hawaï, aux îles quasi alignées, est né de l'activité d'un point chaud.

cours du temps. La distance entre ceux de Louisiane et Rurutu est restée la même. En revanche, entre 60 et 48 millions d'années, le point chaud de Hawaï s'est déplacé d'environ 640 kilomètres par rapport à chacun des deux autres. La source du point chaud de Hawaï aurait donc bien eu un mouvement propre. ■

S. B.

K. Konrad et al., *Nature Communications*, vol. 9, article 854, 2018

EN IMAGE

LE MOTIF FLORAL D'UNE GOUTTE QUI PULSE

Ces dernières années, la microfluidique a connu un développement important. Ses nombreuses applications reposent sur la manipulation de liquides à des échelles micro-métriques, voire nanométriques. Or, à ces dimensions, le comportement des liquides est dominé par la tension de surface et bien d'autres phénomènes dont la compréhension reste à affiner. Par exemple, une configuration *a priori* simple, une goutte posée sur un substrat aqueux, présente en réalité une diversité de comportements, déterminés par la composition des liquides et leur façon d'interagir. On observe ainsi des gouttes qui se déplacent par aut propulsion, qui explosent en gouttelettes, etc. Veronique Pimienta, du laboratoire IMRCP à l'université de Toulouse, Jacques Magnaudet, de l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse, et leurs collègues ont étudié le cas d'une goutte qui émet des gouttelettes suivant des pulsations régulières.

Les chercheurs ont déposé une goutte de dichlorométhane (un solvant souvent utilisé en chimie) à la surface d'un volume d'eau. Les deux liquides contiennent également un composé tensioactif, qui modifie la tension superficielle. Si les tensions de surface entre le fluide de la goutte, l'eau et l'air satisfont une certaine condition, une partie de la goutte s'étale en un film à la surface de l'eau. Sous l'effet de l'évaporation et des conditions régnant sur la ligne de contact des trois fluides, un bourrelet se forme à la périphérie du film. Mais, en raison d'instabilités, le bourrelet se fragmente et les gouttelettes formées sont éjectées vers l'extérieur. Cette fragmentation en gouttelettes a pour effet d'abaisser la tension de surface eau-air, ce qui entraîne la rétraction du film vers la goutte. Puis le système retrouve les conditions initiales et l'expansion du film reprend: la goutte pulse.

Après quelques pulsations, le film devient très mince (moins de un micromètre d'épaisseur). Une autre instabilité conduit à la formation de rides radiales sur le film. Comme pour le bourrelet, les bords des rides se fragmentent en gouttelettes. L'impression d'ensemble est celle d'une fleur et de ses pétales (*voir la grande image ci-contre, en fausses couleurs*). La séquence verticale illustre trois étapes d'une même pulsation en présence des rides sur le film. ■

S. B.

F. Wodlei et al.,
Nature Communications, vol. 9, article 820, 2018

