

nombre relativement important de nouveaux virus à ARN repérés, les chercheurs ont comparé certains marqueurs et utilisé des outils statistiques pour situer dans le temps l'apparition de ces virus.

Ils ont ainsi construit des arbres phylogénétiques. Ces arbres montrent une évolution en miroir de celle de leurs hôtes : les virus à ARN ont coévolué avec les espèces qu'ils infectent. « C'est la force de cette étude : elle ouvre une fenêtre sur le passé, dans un univers où nous n'avons accès à aucun fossile ni trace ! », commente Étienne Simon-Lorière. Elle donne du poids à l'hypothèse d'une existence très ancienne des virus à ARN, ancienneté suggérée par le fait que certains ont été retrouvés chez des organismes unicellulaires ou des invertébrés.

L'évolution des vertébrés a débuté il y a environ 525 millions d'années avec l'apparition de plusieurs classes de poissons, suivie par celle des amphibiens, des reptiles et des mammifères. Pour Yong-Zhen Zhang et ses collègues, les virus à ARN des mammifères proviennent probablement des virus des poissons et ont suivi les animaux qui sont sortis de l'eau.

Plus en détail, l'analyse évolutive montre, en plus de cette coévolution, des exemples de passages d'un virus d'une espèce hôte à une autre. « Ce processus résonne avec ce qui se passe lors des zoonoses. Mais attention, cela ne permet pas de prédire de futurs sauts d'espèces, surtout pas entre les animaux considérés dans cette étude et l'homme. De tels sauts sont fort peu probables car les virus en question sont quand même très différents de ceux qui nous infectent », précise Étienne Simon-Lorière. Les sauts sont plus probables entre espèces de la même classe, entre deux mammifères par exemple.

L'étude ouvre néanmoins plusieurs pistes de recherche. Qu'est-ce qui explique que tel virus soit pathogène pour une espèce et non pour une autre ? Quelles sont les conséquences de l'importante évolution de l'organisation du génome de ces virus ? La diversité révélée promet aussi d'être largement sous-estimée. « Les virus identifiés n'ont pu l'être que par comparaison avec des séquences d'ARN viral déjà connues, dont ils sont suffisamment proches », rappelle Étienne Simon-Lorière. ■

NOËLLE GUILLON

M. Shi et al., *Nature*, vol. 556, pp. 197-202, 2018

Espèces charismatiques : des images à monnayer ?

Lions, girafes, pandas, etc., sont en partie victimes de leur succès. Leur omniprésence dans les films d'animation, sur des affiches et les logos des marques donne l'impression que ces animaux sont moins menacés qu'ils ne le sont réellement. Franck Courchamp nous explique l'origine de ce biais de perception et propose une solution.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

FRANCK COURCHAMP
écologue du CNRS
au laboratoire Écologie,
systématique
et évolution, à Orsay

Comment l'idée est-elle venue d'étudier le lien entre animaux charismatiques et leur conservation ?

Une opinion répandue est que les animaux charismatiques bénéficient de plus d'efforts de conservation. Avec mes collègues, nous avons voulu approfondir cette question du rapport entre l'image de ces animaux et ce que le public pense de la menace d'extinction qui pèse sur eux. J'ai commencé à m'intéresser à ce problème en 2011 et la première étape a été de définir lesquels sont ces animaux charismatiques.

Comment avez-vous procédé ?

J'ai commencé par créer un site internet, en quatre langues, où je demandais aux visiteurs de lister ces animaux. Nous avons obtenu près de 5 000 réponses exploitables. Puis j'ai posé la même question à des écoliers en Angleterre, en Espagne et en France. Ensuite, nous avons recensé les animaux qui figurent sur les affiches des zoos, dans les films d'animation... Les dix animaux les plus charismatiques sont le tigre, le lion, l'éléphant, la girafe, le léopard, le panda, le guépard, l'ours polaire, le loup et le gorille. Cette liste n'est pas surprenante en soi. Ce qui l'est beaucoup plus, c'est la perception qu'ont les gens du danger d'extinction encouru par ces animaux.

Le décalage est-il important ?

À l'exception du loup, toutes ces espèces sont menacées à un degré assez élevé. Mais à la question : « Cette espèce est-elle en danger ? », les réponses sont souvent erronées. Dans le cas de la girafe, 60 % des personnes interrogées pensent que l'espèce n'est pas menacée, alors que la girafe de Nubie a perdu 97 % de sa population en 35 ans. Même pour l'éléphant, dont la préservation fait pourtant l'objet de beaucoup de

communication, une personne sur trois pense que cet animal n'est pas en danger.

Comment interprétez-vous ce biais de perception ?

Ces résultats m'ont interpellé. Si l'on voit autant ces animaux autour de nous, nous devrions bien les connaître et donc savoir que, par exemple, l'éléphant pourrait disparaître d'ici à 50 ans, le lion et le tigre d'ici à seulement 20 ans. Or ce n'est pas le cas. Selon nous, le fait de voir autant de pandas et autres animaux charismatiques dans les médias donne l'impression que ces espèces ne sont pas si en danger que cela. Des volontaires, en France, ont comptabilisé combien d'images de ces animaux ils repéraient en une semaine. Ils ont vu en moyenne 4,4 lions par jour. Ils croisent donc en moyenne, sur une année, deux à trois fois plus de lions qu'il n'y en a dans toute l'Afrique de l'Ouest.

Quelle solution proposez-vous ?

Aujourd'hui, les moyens dédiés à la conservation ne sont pas à la hauteur de l'urgence. Si nous ne sommes pas capables de sauver le roi des animaux, alors il y a peu d'espoir pour une fleur d'Amazonie ou un invertébré des récifs coralliens. Une piste serait de mettre en place une sorte de « droit à l'image » pour les espèces charismatiques. En effet, de nombreuses entreprises utilisent celles-ci dans leur logo et profitent de leur charisme. Ce qui contribue à désensibiliser la population aux risques d'extinction qu'elles encourrent. En s'acquittant d'un « droit à l'image », ces entreprises soutiendraient des actions de conservation. Cela serait même bénéfique pour leur réputation. D'ailleurs, certaines, sur la base du volontariat, ont déjà lancé de telles initiatives avec le programme *Save your logo* ; c'est le cas de Lacoste ou Maaf Assurances. L'étape d'après serait de discuter avec des juristes et d'autres acteurs de la société civile pour étendre et généraliser cette idée. ■

F. Courchamp et al., *PLoS Biology*, vol. 16(4), e2003997, 2018

PHYSIQUE

UN MASER CONTINU À TEMPÉRATURE AMBIANTE

Les masers, des sources très pures de microondes, seront-ils bientôt exploités à grande échelle ? Un prototype fonctionne enfin à température ambiante.

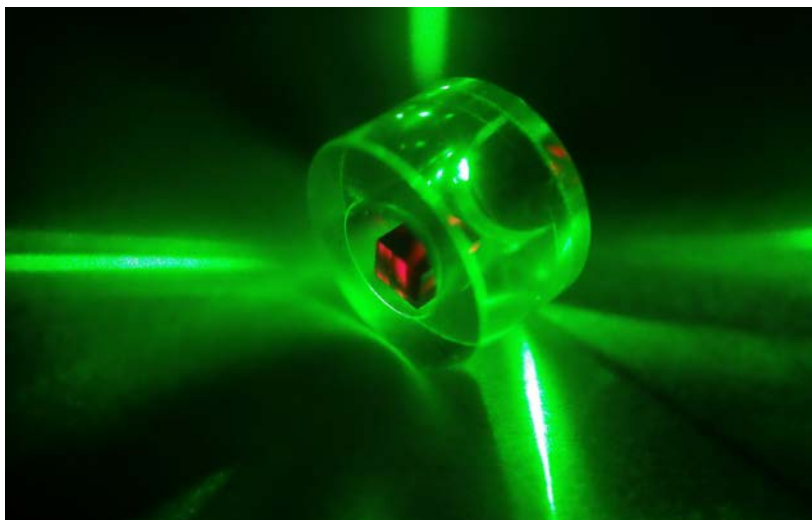
Le maser, similaire au laser sauf qu'il émet des microondes, date de 1954. Ce dispositif n'a cependant été que peu utilisé, car ceux que l'on a inventés fonctionnent à des températures cryogéniques, c'est-à-dire proches du zéro absolu. D'où l'intérêt du travail de l'équipe de Jonathan Breeze, de l'Imperial College de Londres, qui vient de créer un maser fonctionnant en continu et à température ambiante !

En 2012, les mêmes chercheurs avaient déjà démontré qu'un maser à pentacène (un hydrocarbure aromatique de formule brute $C_{22}H_{14}$) fonctionnait à température ambiante, mais le dispositif ne produisait que des flashes d'un millièmme de seconde environ; du reste, si ce maser avait fonctionné en continu, le cristal de pentacène aurait probablement fondu.

Pour obtenir son nouvel émetteur maser, l'équipe de Jonathan Breeze a utilisé un diamant synthétique que l'on a fait croître dans une atmosphère riche en azote. Les chercheurs ont alors éliminé certains atomes de carbone du diamant à l'aide d'un faisceau d'électrons à haute énergie, afin d'y créer des lacunes; le chauffage du diamant a ensuite provoqué l'appariement de ces lacunes avec des atomes d'azote, ce qui a créé le type de défaut que voulaient les chercheurs: des défauts azote-lacune, contenant deux électrons non appariés (libres dans la lacune). Les niveaux d'énergie de ces défauts sont exploitables pour produire une émission dans le spectre des microondes: moyennant un ajustement de ces niveaux, il est possible de produire une émission maser par pompage optique, une technique couramment utilisée pour produire une émission laser ou maser.

Le pompage optique consiste à fournir aux électrons une énergie lumineuse suffisante pour les exciter de leur état fondamental (l'état de moindre énergie) vers un niveau d'énergie supérieur adéquat. Reçue en continu, l'énergie lumineuse pousse alors les électrons à se désexciter vers un niveau d'énergie intermédiaire (ici tel qu'ils émettront un photon microonde) – un mécanisme nommé émission stimulée.

Pour obtenir le système adéquat de niveaux d'énergie, les chercheurs ont manipulé l'état fondamental des défauts azote-lacune à l'aide d'un champ magnétique appliqué le long de l'un



Un diamant contenant certains défauts émet des micro-ondes quand on l'éclaire à l'aide d'un laser vert. La lumière rouge aussi émise est une fluorescence parasite.

de leurs quatre axes. Cela leur a permis d'utiliser comme énergie lumineuse un laser de longueur d'onde proche de 532 nanomètres (donc de couleur verte) et d'obtenir le rayonnement maser recherché. Afin de concentrer l'énergie des microondes ainsi émises, les chercheurs ont placé le diamant émetteur au centre d'un anneau de saphir. Transmise à l'extérieur du dispositif par une antenne, l'émission, obtenue à température ambiante, est continue et d'une fréquence de 9,2 gigahertz. Modifier cette fréquence est possible en faisant varier le champ magnétique.

Actuellement, des masers cryogéniques sont utilisés dans les communications spatiales et en radioastronomie, où leur qualité de signal est indispensable. Toutefois, comme ils sont compliqués à mettre en œuvre, les chercheurs s'attendent à ce que leur maser les remplace bientôt. Selon eux, le nouveau maser pourrait aussi trouver toute une gamme d'applications allant de l'imagerie médicale aux scanners corporels dans les aéroports; et jouer un rôle central en améliorant les capteurs servant à détecter les explosifs à distance, voire les ordinateurs quantiques... ■

FRANÇOIS SAVATIER

J. D. Breeze *et al.*, *Nature*, vol. 455, pp. 493-496, 2018

AUX SOURCES DU NIL

Quand le Nil est-il devenu un grand fleuve continental ? Pour le savoir, Laura Fielding, de l'université Lancaster, au Royaume-Uni, et ses collègues ont analysé les sédiments déposés dans le delta du Nil. Les chercheurs datent ainsi les premiers dépôts de près de 31 millions d'années. Les propriétés de ces sédiments indiquent aussi que le Nil prenait sa source sur les plateaux éthiopiens, d'où part aujourd'hui le Nil Bleu, et non des régions plus à l'ouest où naît le Nil Blanc.

COMMUNIQUER AVEC DES TAMBOURS

Le peuple Bora, installé à la frontière du Pérou et de la Colombie, utilise des tambours nommés manguarés pour communiquer sur des kilomètres de distance. Julien Meyer, de l'université Grenoble-Alpes, et ses collègues ont analysé cette technique. Ils ont notamment montré que la durée des pauses entre les coups indique le nombre de consonnes et de voyelles, mais surtout que des marqueurs rythmiques distinguent les mots. Ce langage tambouriné imite ainsi les tons et le rythme de la parole.

L'ATTAQUE DU PARESSEUX GÉANT

Cet animal, aujourd'hui disparu, devait être une proie dangereuse du fait de sa taille et de ses longues griffes. Pourtant, cela ne dissuadait pas les hommes de s'y attaquer il y a 10 000 ans. C'est le constat de l'équipe de Matthew Bennett, de l'université de Bournemouth, au Royaume-Uni. Elle a découvert, dans un désert du Nouveau-Mexique, un ensemble de traces de paresseux géants et de pas humains laissés dans de la boue maintenant figée. La disposition des empreintes montre des postures défensives de l'animal et des intentions agressives des humains, peut-être pour tuer ce gibier de choix.

MANGER MOINS ET VIVRE VIEUX

La restriction calorique chronique consiste à manger une ration alimentaire réduite, mais équilibrée, à partir de l'âge adulte et tout au long de la vie. Des travaux avaient montré les effets bénéfiques de la restriction calorique chronique sur la longévité de nombreuses espèces à courte durée de vie, comme les vers, les mouches ou les souris. Toutefois, ses effets sur la longévité et les capacités motrices ou cognitives des humains et d'autres primates restaient encore peu connus.

Grâce à une étude menée sur dix ans, Fabien Pifferi, du CNRS et du Muséum national d'histoire naturelle, et ses collègues ont constaté qu'un groupe de lémuriens dont les chercheurs avaient réduit de 30 % la ration alimentaire quotidienne avaient une longévité supérieure de près de 50 % à celle de leurs congénères, sans présenter d'altération de leurs capacités motrices et cognitives. Par ailleurs, les animaux à l'alimentation restreinte souffraient moins de pathologies liées à l'âge, comme le cancer ou la néphrite chronique. L'atrophie de la substance blanche (ensemble des fibres des neurones du cerveau) était quant à elle ralentie. En revanche, une légère perte de substance grise (corps cellulaires des neurones du cerveau) a été observée, sans



Les microcèbes, lémuriens nocturnes et endémiques de l'île de Madagascar, vivent mieux en mangeant moins.

qu'elle se traduise dans les performances cognitives des lémuriens. Les chercheurs ne l'expliquent pas encore.

Une autre étude, dirigée par Leanne Redman, du centre de recherche biomédical Pennington, aux États-Unis, conduite sur des humains jeunes et en bonne santé, a révélé que ceux d'entre eux qui avaient réduit leur apport calorique quotidien de 15 % voyaient leur métabolisme ralentir et la production de radicaux libres, dont l'accumulation dans les cellules entraînerait le vieillissement, diminuer. ■

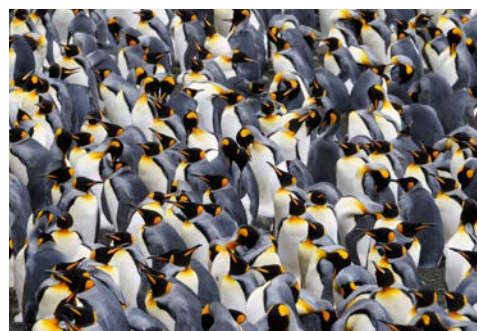
ALINE GERSTNER

F. Pifferi et al., *Communications Biology*, vol. 1, article n° 30, 2018 ; L. Redman et al., *Cell Metabolism*, vol. 27, pp. 805-815, 2018

UN FLUIDE DE MANCHOTS

En groupe, les animaux présentent une organisation structurale parfois très ordonnée. C'est le cas, par exemple, des manchots royaux (*Aptenodytes patagonicus*) pendant la période d'incubation et de garde du jeune poussin de moins d'un mois. Ces animaux se regroupent pour former des colonies denses comprenant jusqu'à 500 000 couples. Grâce à des images et des vidéos prises durant plusieurs années sur les îles Crozet et Kerguelen, Richard Gerum, de l'université d'Erlangen-Nuremberg, en Allemagne, et ses collègues du CNRS, des universités de Strasbourg et de Montpellier et du centre scientifique de Monaco, ont modélisé ces rassemblements qui présentent des caractéristiques similaires à celles d'un liquide.

Ce comportement de la colonie offre le meilleur compromis possible entre la densité et la



Vus du ciel, les manchots royaux sont assez régulièrement espacés, comme des molécules dans un liquide.

flexibilité. Si la densité était moindre, il faudrait plus d'espace pour accommoder tous les manchots. Et une densité trop forte rendrait difficiles les déplacements au sein du groupe pour remplir les trous ou réagir à une menace. ■

S. B.

R. Gerum et al., *Journal of Physics D*, vol. 51, 164004, 2018

EN IMAGE

IMAGERIE: DES ÉTOILES AUX CELLULES IN VIVO

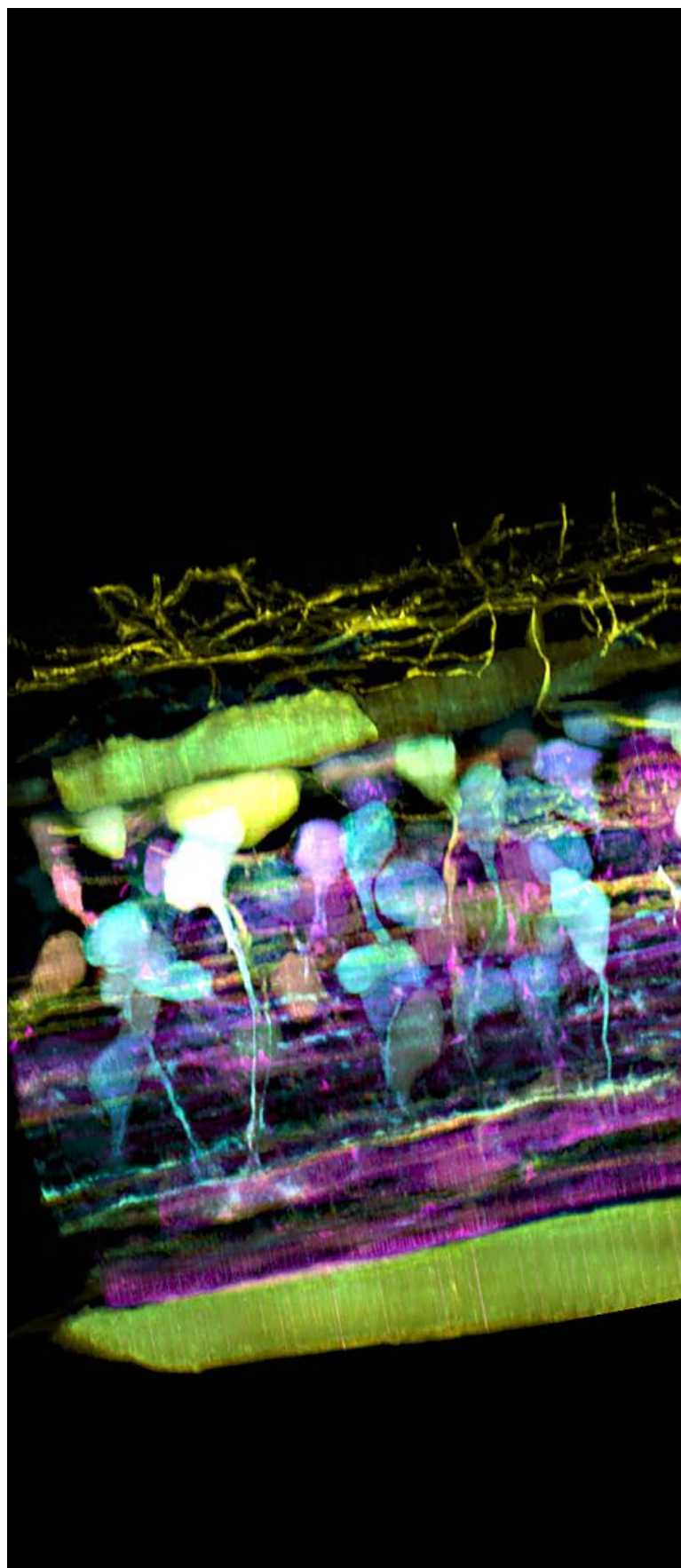
Pour les spécialistes de l'imagerie microscopique, l'un des grands défis est d'observer des cellules vivantes en trois dimensions au sein de leur environnement en s'assurant qu'ils n'en altèrent pas les conditions. De nombreuses techniques existent, mais elles ne sont pas toujours satisfaisantes. Elles sont parfois trop lentes pour suivre des processus rapides, comme c'est le cas avec la microscopie confocale, ou provoquent un stress et des dommages dans les tissus observés du fait d'un apport d'énergie trop important.

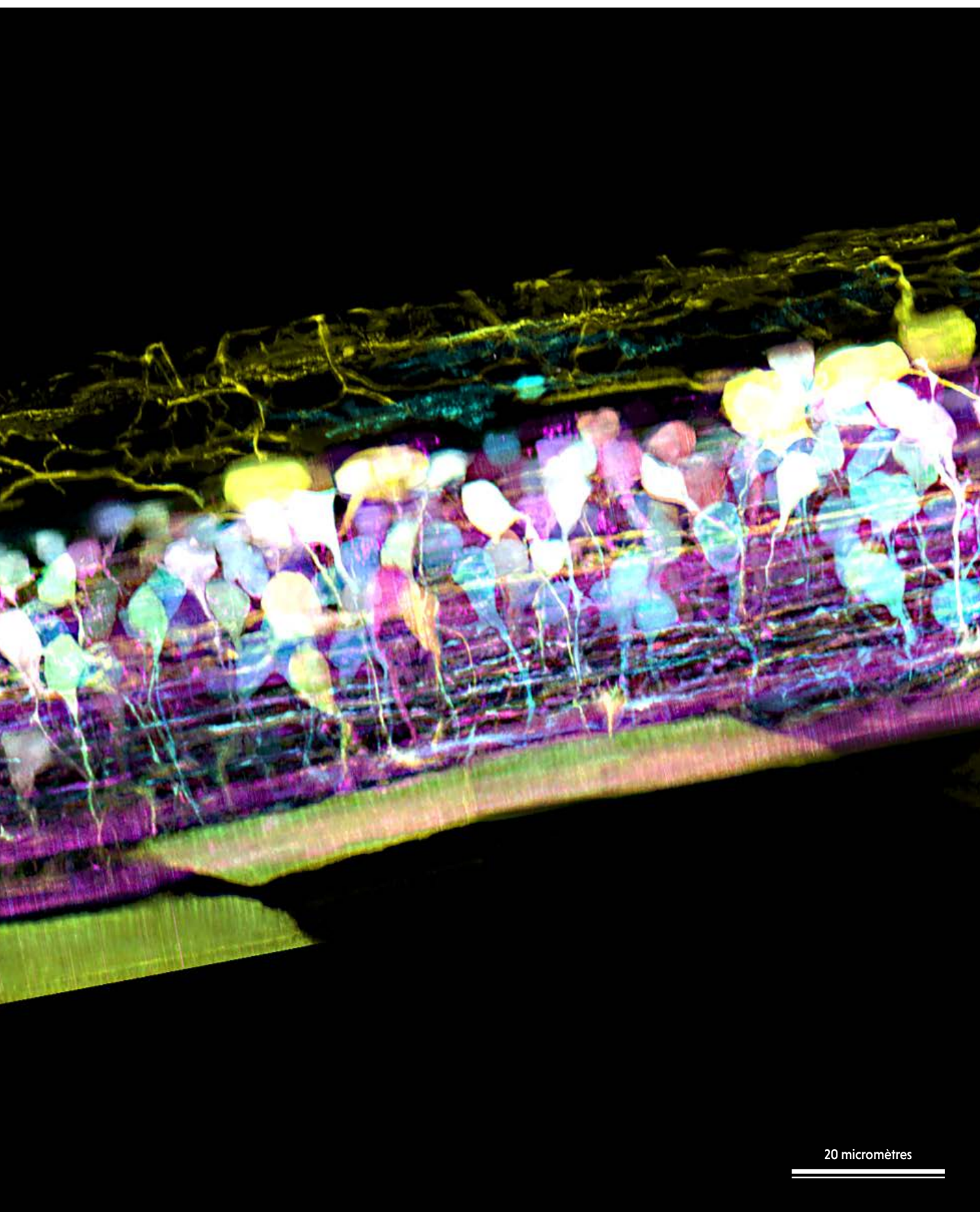
En combinant deux techniques, la microscopie à nappe de lumière en réseau et l'optique adaptative, l'équipe d'Eric Betzig, de l'institut médical Howard-Hughes, aux États-Unis, a obtenu des images et des vidéos d'une grande précision de nombreux processus biologiques chez le poisson-zèbre: la migration d'une cellule cancéreuse, les déplacements d'un macrophage dans l'oreille interne, le développement de la moelle épinière et la différenciation de nouveaux neurones dans un embryon (*image ci-contre*), etc.

La microscopie à nappe de lumière en réseau est une technique non invasive qui permet de reconstruire une image d'un volume avec une très bonne résolution spatiotemporelle. Cependant, la lumière, en traversant des milieux d'indices de réfraction différents, subit des aberrations qui rendent l'image floue. Eric Betzig, à l'origine de cette technique d'imagerie, a eu l'idée de l'associer à l'optique adaptative. Cette méthode est mise en œuvre dans certains télescopes pour corriger les aberrations de la lumière des étoiles dues aux perturbations atmosphériques. Les corrections sont effectuées grâce à un miroir déformable, en temps réel. Le dispositif final de l'équipe d'Eric Betzig est encore volumineux et occupe une table de trois mètres de long. Mais les chercheurs étudient déjà différentes pistes pour en réduire la taille. ■

S. B.

T.-L. Liu *et al.*, *Science*, vol. 360, eaaq1392, 2018.
Vidéos du projet: http://bit.ly/PLS488_Microscope





20 micromètres

PHYSIQUE

DES NOMBRES BIEN ALÉATOIRES

Produire des nombres aléatoires est d'importance capitale pour les techniques cryptographiques, car ces dernières sont fondées sur des clés de chiffrement, de longues chaînes de 0 et de 1. Si ces clés ne sont pas générées de façon parfaitement aléatoire, un pirate informatique serait éventuellement capable de percer leur logique; il pourrait alors les reconstituer et accéder aux données.

Depuis plusieurs années, les cryptologues s'intéressent à un domaine où l'aléatoire et l'imprévisible font loi: la physique quantique. Dans ce cadre, une équipe du NIST (l'institut américain des étalons et de la technologie) vient de présenter une méthode permettant de produire des nombres bien aléatoires.

Peter Bierhorst et ses collègues ont conçu un dispositif où l'on mesure la polarisation (la direction du champ électrique) de photons. Une source y émet des paires de photons dont les polarisations sont intriquées, c'est-à-dire étroitement corrélées par un phénomène quantique. La direction de la polarisation mesurée pour un photon est ensuite traduite en un bit 0 ou un bit 1. Et la valeur mesurée du bit est garantie aléatoire si la paire de photons est quantiquement intriquée. Or les chercheurs ont calculé, à partir des corrélations d'un



Les propriétés de la physique quantique sont exploitées pour générer des suites aléatoires de 0 et de 1.

ensemble de paires, que seule une petite part des bits générés a un caractère vraiment aléatoire. Les autres seraient éventuellement le résultat d'un processus non quantique, où l'aléatoire n'est pas garanti.

Les chercheurs ont alors associé à leur dispositif un extracteur d'aléa, un outil courant en cryptographie qui prend un grand nombre de bits pour en donner un plus petit, mais dont le caractère aléatoire est fortement augmenté. L'équipe de Peter Bierhorst a ainsi pu générer des chaînes de 1024 bits presque parfaitement aléatoires. ■

DONOVAN THIEBAUD

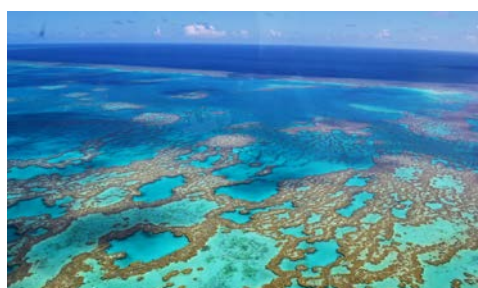
P. Bierhorst et al., *Nature*, vol. 556, pp. 223-226, 2018

ENVIRONNEMENT

ANNÉE NOIRE POUR LE CORAIL

La vague de chaleur record de 2016 a été plus sévère pour la Grande Barrière de corail, en Australie, qu'on ne le pensait. C'est le constat de l'équipe de Terry Hughes, de l'université James Cook, à Townsville, en Australie. Les chercheurs ont réalisé un suivi aérien sur les 2300 kilomètres de la Barrière pendant le pic de chaleur, en mars-avril 2016. Et ils ont aussi effectué un suivi sous-marin sur cette période et huit mois plus tard.

Cette étude a permis notamment de clarifier et quantifier les liens entre une vague de chaleur, le blanchiment des coraux (dû à la perte de l'algue symbiotique qui apporte énergie et nutriments au corail) et la mortalité à court et plus long termes en fonction des différentes espèces. L'équipe a constaté que seuls 10% des coraux n'ont pas été affectés par le blanchiment. Au



Les récifs coralliens sont capables de récupérer après une vague de chaleur. Mais pas forcément si une telle perturbation devient fréquente...

total, près de 30% de la superficie occupée par les coraux a été perdue. Cela comprend à la fois les coraux qui sont morts du fait de la chaleur pendant le pic et ceux trop touchés pour récupérer une fonction symbiotique. La composition des récifs a aussi changé, les coraux les plus sensibles ayant disparu. ■

S. B.

T. P. Hughes et al., *Nature*, vol. 556, pp. 492-496, 2018

EN BREF

DES POULPES EN MILIEU EXTRÊME

Lors de l'expédition d'un véhicule submersible à 3 000 mètres de profondeur, à 200 kilomètres au large du Costa Rica, Anne Hartwell, de l'université Akron, aux États-Unis, et ses collègues ont eu la surprise de trouver près de sources thermales 102 poulpes du genre *Muusoctopus*, avec des œufs. Leur présence à cet endroit est paradoxale car les eaux (à 12,3 °C) sont trop chaudes pour le développement des embryons, et l'oxygène y est beaucoup trop rare. Les chercheurs supposent que ces poulpes se sont installés à cet endroit en raison d'une surpopulation dans une zone proche aux conditions plus propices.

COUCHE-TARD MORTS TÔT ?

Se coucher tard – une habitude souvent liée à un manque de sommeil –, est mauvais pour la santé, avec un risque accru de maladies cardiovasculaires, de diabète, etc. Kristen Knutson et Malcolm von Schantz, de l'université Northwestern, à Chicago, ont suivi plus de 400 000 personnes d'âges allant de 38 à 73 ans pendant en moyenne 6,5 ans. Ils ont montré que ceux « du soir » avaient aussi un risque de mortalité supérieur à ceux « du matin ».

IL Y A 700 000 ANS, DES HUMAINS AUX PHILIPPINES

La découverte aux Philippines d'un squelette de rhinocéros présentant des traces de découpe et en association avec des outils taillés sur enclume atteste de la présence d'humains bien plus tôt qu'on ne le pensait. Thomas Ingicco, du Muséum, à Paris, et ses collègues ont daté ces restes de 700 000 ans. Un homininé antérieur à *Homo sapiens* serait donc parvenu jusqu'aux Philippines, des îles déjà entourées de profonds bras de mer. Mais comment ?

LA JOUISSANCE DES MOUCHES

Les drosophiles (mouches du vinaigre) mâles recherchent de toute évidence à s'accoupler avec des femelles, mais quelle est l'étape, de la cour jusqu'à la copulation, qui leur procure le plus de plaisir? Une équipe menée par Shir Zer-Krispil et Galit Shohat-Ophir, de l'université Bar-Ilan, en Israël, a montré qu'il s'agit probablement de l'éjaculation: en la provoquant artificiellement, ces chercheuses ont reproduit les divers symptômes physiologiques et comportementaux associés à un accouplement réussi. Pour ce faire, elles ont utilisé des mâles de drosophile génétiquement modifiés de façon que certains neurones, dits Crz, déclencheurs de l'éjaculation, puissent être activés par une lumière rouge. Et ont notamment constaté que ces mâles choisissent de se placer sous la lumière stimulatrice... ■

MAURICE MASHAAL

S. Zer-Krispil et al., *Current Biology*, vol. 28, pp. 1-8, 2018

ÉVOLUTION

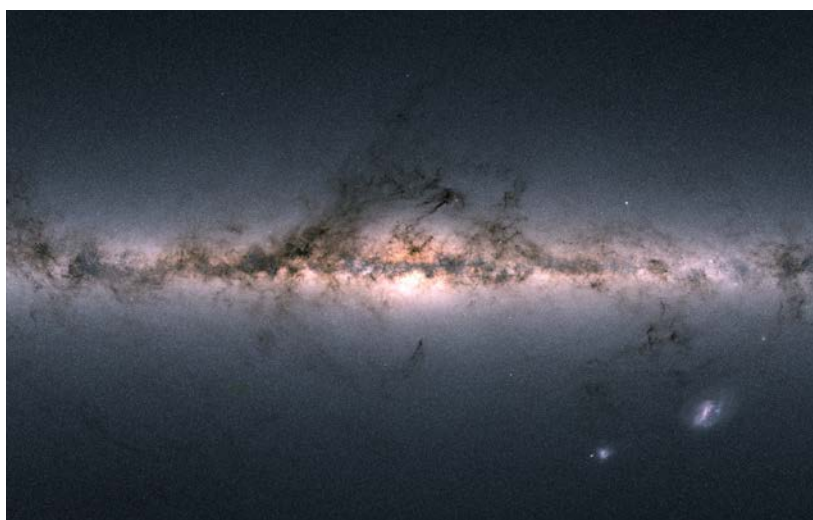
L'ADAPTATION DES NAGEURS

En Asie du Sud-Est, les Bajaus, aussi nommés «nomades de la mer», vivent des ressources de l'océan. Ils plongent, par exemple, pour récolter des crustacés ou pêcher des poissons. Leurs performances sont spectaculaires: ils peuvent rester en apnée pendant près de cinq minutes et passer, au total, plusieurs heures par jour sous l'eau sans respirer. Ces capacités sont-elles le fruit d'un exercice quotidien ou sont-elles d'origine génétique? Pour le savoir, Melissa Ilardo, de l'université de Copenhague, et ses collègues ont séquencé le génome de 43 Bajaus et de 33 Saluans (un peuple fermier proche génétiquement). Ils ont trouvé 25 variants spécifiques aux Bajaus. L'un d'eux concerne le gène *PDE10A*, qui assure la production d'hormones thyroïdiennes impliquées dans le contrôle de la taille de la rate. Or cet organe, 50% plus grand chez les Bajaus, libère du sang oxygéné lorsque le corps est plongé dans l'eau. Autrement dit, il y a eu adaptation évolutive. ■

S. B.

M. A. Ilardo et al., *Cell*, vol. 173, pp. 569-580, 2018

1,7 MILLIARD D'ÉTOILES SOUS L'ŒIL DE GAIA



En plus des étoiles et de leurs caractéristiques, *Gaia* a aussi étudié la distribution de la poussière dans la Voie lactée, en analysant sa présence sur la ligne de visée de près de 88 millions d'étoiles.

Lancé en 2013, le satellite *Gaia* avait pour objectif d'observer plus d'un milliard d'étoiles dans la Voie lactée, de mesurer leurs positions, leurs distances, leurs mouvements et leurs propriétés physiques. Il succédait au satellite *Hipparcos*, mais en améliorant la précision d'un facteur 50. Un premier catalogue des données de *Gaia* avait été rendu public en 2016. Une seconde livraison (obtenue à partir de 22 mois de prise de données) vient de l'enrichir considérablement: 1,7 milliard de positions d'étoiles (ce qui représente environ 1% des astres de la Galaxie), 1,3 milliard de distances et mouvements propres, 7,2 millions de vitesses radiales, 500 000 courbes de lumière pour les étoiles variables, 160 millions de températures de surface et mesures de luminosité. Dans le Système solaire, pas moins de 14 000 astéroïdes ont été suivis avec une précision inégalée. Des objets extragalactiques sont aussi inclus, avec près de 500 000 quasars (des galaxies émettant un fort rayonnement électromagnétique).

L'exploitation des données a déjà commencé et plusieurs articles ont été publiés en même temps que le catalogue. Ainsi, les chercheurs ont construit une carte tridimensionnelle riche et précise de la Voie lactée. Par ailleurs, David Katz, de l'observatoire de Paris-Meudon, et ses collègues ont utilisé les vitesses radiales pour étudier en trois dimensions la dynamique des populations stellaires. Ces informations sont précieuses pour retracer l'histoire de la formation de la Voie lactée. Carine Babusiaux, de l'institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble, et ses collègues ont construit un diagramme de Hertzsprung-Russell complet et détaillé à partir des données de température et de luminosité stellaire. Ce diagramme permet de classer les étoiles et indique à quel stade de leur vie elles se trouvent.

Initialement programmée pour une durée de cinq ans, la mission *Gaia* devrait être prolongée de deux ans, de quoi continuer à enrichir un catalogue devenu indispensable. Deux livraisons sont d'ailleurs prévues dans les années à venir. ■

S. B.

Collaboration *Gaia*, *Astronomy & Astrophysics*, en ligne, 25 avril 2018

MATHÉMATIQUES

LE NOMBRE CHROMATIQUE DU PLAN VAUT AU MOINS 5

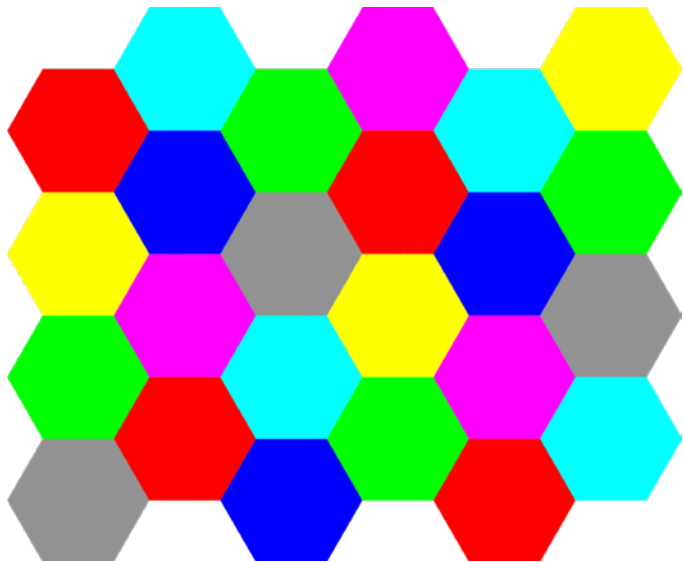
Un mathématicien amateur anglais vient de franchir une étape importante vers la résolution d'un vieux problème de la théorie des graphes.

Le plus célèbre résultat mathématique lié aux façons de colorier le plan est le théorème des quatre couleurs. Il prouve que 4 couleurs suffisent pour colorier n'importe quelle carte en s'assurant que deux régions limitrophes ne soient jamais de la même couleur. Le problème de Hadwiger-Nelson, vieux de presque 70 ans, se fixe une autre contrainte: quel est le nombre minimal de couleurs nécessaires pour colorier le plan de telle sorte que deux points quelconques distants d'une unité de longueur soient de couleurs différentes? L'Anglais Aubrey de Grey, biologiste spécialiste du vieillissement et mathématicien amateur, a franchi une étape importante vers la solution.

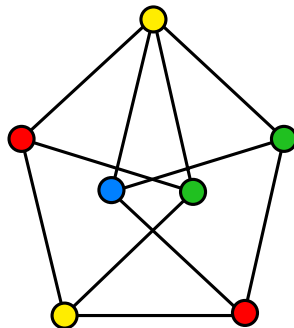
C'est en 1950 qu'Edward Nelson, alors étudiant à l'université de Chicago, a posé ce problème. Son nom est associé à celui du mathématicien suisse Hugo Hadwiger, qui s'est intéressé à des questions voisines dès 1945. La réponse, nommée nombre chromatique du plan, est nécessairement inférieure ou égale à 7. En effet, l'Américain John Isbell a remarqué dès 1950 qu'avec des hexagones de diamètre légèrement inférieur à 1, sept couleurs permettent de colorier le plan en respectant la contrainte d'Edward Nelson et de Hugo Hadwiger (voir la figure). Mais peut-on faire mieux?

Pour répondre de la façon la plus générale à la question, il faut reformuler le problème en termes de théorie des graphes. La même approche a été utilisée pour démontrer le théorème des quatre couleurs: les régions sont remplacées par des nœuds colorés reliés par des segments aux nœuds des régions voisines. Cette formulation plus simple du problème permet notamment un traitement informatique efficace.

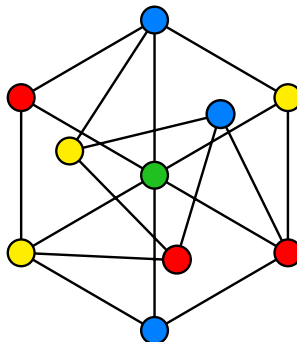
Dans le cas du problème de Hadwiger-Nelson, un nœud représente un point du plan; il est relié *a priori* à une infinité de points par des segments de longueur 1. Le graphe serait donc infini! Mais pour trouver une borne inférieure sur le nombre de couleurs nécessaires pour colorier le plan, un graphe fini suffit. Un graphe carré, par exemple, peut être colorié avec 2 couleurs. Mais 2 couleurs sont insuffisantes en toute généralité car le graphe de Moser (qui a 7 nœuds et 11 arêtes, ci-contre) ou celui de Solomon Golomb (qui comporte



Un pavage régulier par des hexagones de diamètre inférieur à 1 montre que 7 couleurs permettent de colorier le plan suivant la contrainte du problème de Hadwiger-Nelson.



Le graphe de Moser (ci-dessus), qui a 7 nœuds et 11 arêtes de longueur 1, et celui de Golomb (ci-dessous), qui compte 10 nœuds, ne peuvent être coloriés avec moins de 4 couleurs.



10 nœuds), par exemple, requièrent 4 couleurs. Ainsi, le nombre chromatique du plan devrait être compris entre 4 et 7.

Or Aubrey de Grey a construit des graphes composés de points du plan, dont un grand nombre de paires sont à distance 1, et qui nécessitent 5 couleurs. Pour les réaliser, il a fusionné des copies du graphe de Moser et des graphes hexagonaux. Son graphe initial comprenait 20 425 nœuds. Il l'a ensuite simplifié pour en obtenir un second, qui ne contient plus que 1 581 nœuds.

Le nombre chromatique du plan est donc compris entre 5 et 7. Maintenant, une autre énigme se pose: le graphe d'Aubrey de Grey est-il le plus petit possible nécessitant 5 couleurs? La communauté virtuelle de mathématiciens Polymath, sous l'impulsion d'Aubrey de Grey et Dustin Mixon, de l'université d'État de l'Ohio, s'est emparée de la question. Plusieurs personnes ont rapidement proposé des graphes simplifiés. Pour l'instant, le plus petit est celui de Marijn Heule, chercheur en informatique à l'université du Texas, à Austin: ce graphe n'a «que» 826 nœuds. ■

S. B.

A. de Grey, en ligne sur arXiv le 8 avril 2018, <https://arxiv.org/abs/1804.02385>