

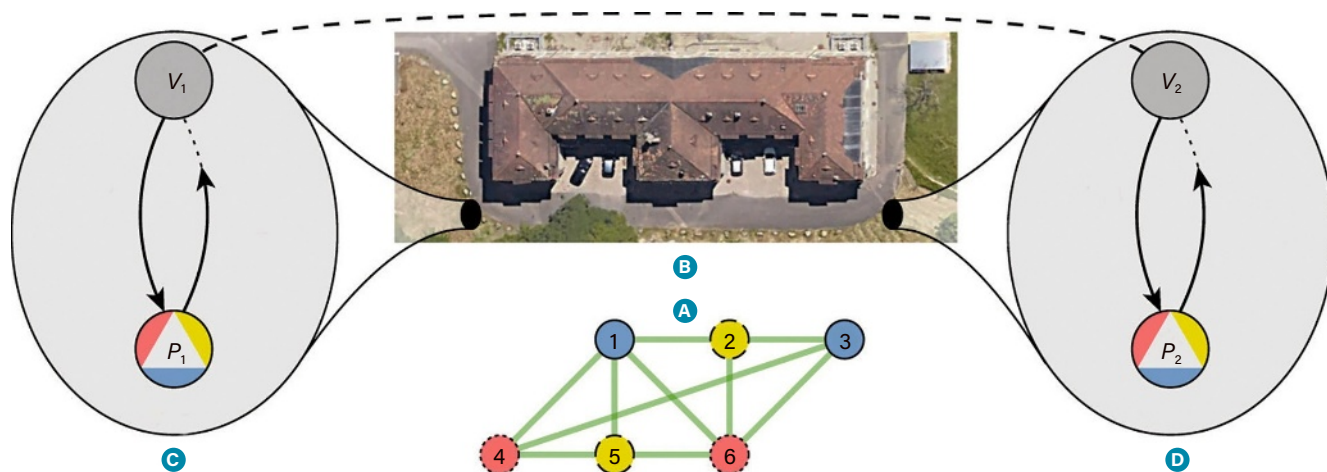


Schéma synthétique du protocole mis en place par Sébastien Designolle et ses collègues. Le graphe colorié (A) est partagé entre les deux dispositifs du fournisseur de preuve. Dans l'expérience, les deux dispositifs sont situés à 60 mètres l'un de l'autre (B). Le vérificateur choisit au hasard une paire

de sommets connectés par une arête, puis interroge simultanément les deux fournisseurs et demande à chacun d'annoncer la couleur d'un des deux sommets (C, D). En répétant la procédure un grand nombre de fois, il est possible de s'assurer de l'identité du fournisseur de preuve.

qu'il était possible d'implémenter le protocole de preuve à divulgation nulle d'information tout en contournant le problème des capacités de calcul pour casser le code. L'idée consiste à avoir plusieurs fournisseurs de preuve qui essayent de convaincre le vérificateur. Le principe est le même que celui qui revient à interroger deux suspects d'un braquage dans deux cellules différentes pour voir si leurs réponses concordent ou s'ils sont en train de mentir et d'inventer des alibis.

Dans leur expérience, Sébastien Designolle et ses collègues ne cherchent pas à factoriser des grands nombres, mais à analyser un graphe colorié avec trois couleurs. Un graphe est constitué de sommets reliés par des arêtes. Pour un graphe donné, il est très difficile de montrer s'il est possible de le colorier avec seulement trois couleurs de sorte que toutes les paires de sommets reliés par une arête soient de couleurs différentes. Pour le cas qui intéresse les chercheurs, cela garantit qu'un espion ne pourrait pas facilement déterminer le coloriage d'un graphe.

Ici, deux fournisseurs de preuve partagent un graphe dont ils connaissent le coloriage. Le vérificateur choisit au hasard une paire de sommets connectés par une arête, puis interroge simultanément les fournisseurs et demande à chacun d'annoncer la couleur d'un des deux sommets. Le vérificateur itère de nombreuses fois cette opération pour s'assurer de la cohérence des réponses des deux fournisseurs de preuve. Dans l'expérience, le graphe contient 588 sommets

et 1097 arêtes. Le vérificateur reproduit le test environ 500 000 fois pour garantir la sécurité du protocole. Il peut ainsi confirmer l'identité des fournisseurs de preuve, sans pour autant connaître le coloriage du graphe (pour être précis, les fournisseurs de preuve partagent une série de coloriages qu'ils changent de la même façon à chaque question).

La sécurité du système repose sur les lois de la physique

Comme pour les suspects d'un braquage, les deux fournisseurs de preuve ne doivent pas pouvoir communiquer pour synchroniser leurs réponses. Il faut que le système de question-réponse opère plus rapidement que le temps nécessaire à un signal pour transiter d'un fournisseur de preuve à l'autre. Rappelons que la lumière se déplace dans le vide à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde, une vitesse qui ne peut être dépassée d'après la relativité restreinte. Avec un distributeur de billets large de 1 mètre, la personne qui veut s'identifier utiliserait deux dispositifs servant de fournisseurs de preuve qu'elle insérerait aux deux extrémités de la machine. Le système devrait alors réaliser chaque test en moins de

3,3 nanosecondes ! Ce qui semblait techniquement infaisable.

Néanmoins, avec un protocole optimisé, les chercheurs s'en approchent. Dans une expérience, les deux fournisseurs de preuve sont distants de 400 mètres et les questions sont synchronisées grâce à une horloge GPS, dans une autre la distance est de seulement 60 mètres et la synchronisation se fait avec une fibre optique. Chaque test est effectué assez vite de sorte que les fournisseurs de preuve ne puissent pas communiquer entre eux, contraints par la relativité restreinte. Ces résultats montrent que le protocole d'identification sans divulgation d'information peut être implémenté sur des distances assez courtes. Et qu'il serait même encore possible de les réduire.

« Cette approche est vraiment intéressante, souligne Nicolas Brunner, physicien à l'université de Genève et coauteur des travaux, car la sécurité du système repose sur les lois de la physique, de la relativité restreinte, et non plus sur une hypothèse limitant le pouvoir de calcul ou le niveau de technologie de l'espion. » ■

Sean Bailey

P. Alikhani et al., *Nature*, vol. 599, pp. 47-50, 2021

Retrouvez tous nos articles sur le Covid-19 en accès libre sur www.pourlascience.fr

MÉDECINE

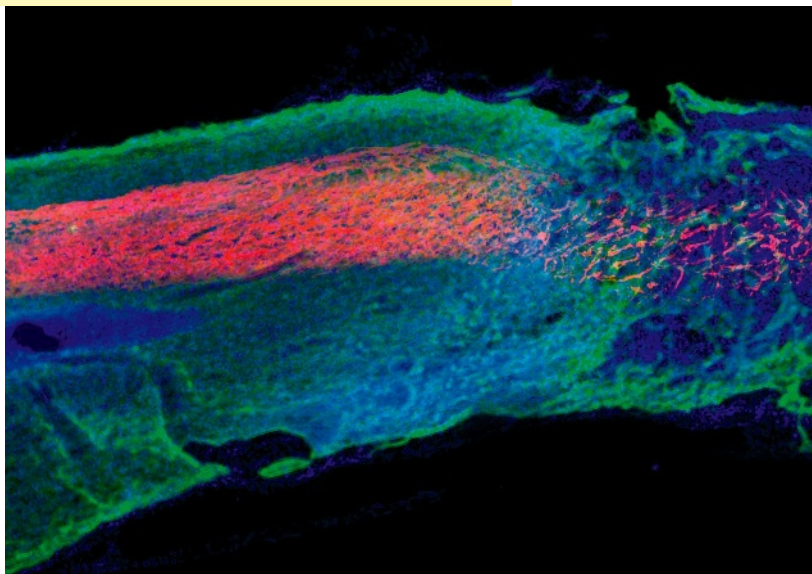
DES NANOFIBRES MOBILES POUR GUÉRIR LES PARALYSÉS ?

Grâce à un traitement à base de nanofibres, des souris atteintes de lésions de la moelle épinière ont marché à nouveau.

Aujourd'hui, les lésions traumatiques de la moelle épinière restent sans traitement alors qu'elles entraînent parfois une paralysie motrice et amoindrissent considérablement la qualité de vie des personnes touchées. En effet, les neurones du système nerveux central (SNC), qui comprend le cerveau et la moelle épinière, ne disposent que d'une capacité limitée d'autoréparation, insuffisante pour pallier une section accidentelle. Zaida Alvarez, de l'université Northwestern, à Chicago, et ses collègues viennent de mettre au point un traitement injectable et biodégradable constitué de nanofibres qui stimule la régénération des fibres nerveuses endommagées et la récupération fonctionnelle motrice dans un modèle de souris atteintes de telles lésions.

« Les capacités de réparation du SNC après un trauma sont inhibées par l'environnement lésionnel. Beaucoup d'équipes travaillent à développer des stratégies pour lever cette inhibition, notamment par l'emploi de biomatériaux qui miment la matrice extracellulaire des neurones », explique Fatiha Nothias-Chahir, qui dirige l'équipe Régénération et croissance de l'axone à Sorbonne Université. Zaida Alvarez et ses collègues ont utilisé des polymères qui ont la capacité de s'autoassembler en réseaux de nanofibres. Ces matériaux, nommés « peptides amphiphiles », comprennent trois segments : une queue hydrophobe, une zone intermédiaire qui donne à la protéine sa conformation et une extrémité chargée et hydrophile, sur laquelle il est possible de greffer un peptide d'intérêt. Ici en l'occurrence, les chercheurs ont sélectionné deux peptides. L'un, noté IKVAV, est un dérivé de la laminine, un composant de la matrice extracellulaire qui favorise la repousse des axones. L'autre, qui imite le facteur de croissance FGF2, a été choisi pour ses effets sur la prolifération et la survie cellulaire.

Des travaux précédents avaient déjà montré que le peptide IKVAV, intégré à des biomatériaux d'échafaudage, stimule la réparation du tissu nerveux et une récupération fonctionnelle après une lésion de la moelle épinière. Ici, l'équipe est allée plus loin en montrant que la



Coupe longitudinale de la moelle épinière sectionnée et traitée avec un assemblage de nanofibres. On constate une croissance d'axones (en rouge) dans la lésion (à droite).

combinaison de peptides amphiphiles porteurs d'IKVAV ou du peptide FGF2 renforce cet effet. Les résultats obtenus sur la souris ont montré en effet une repousse axonale des neurones lésés, une meilleure survie des neurones moteurs, une revascularisation et encore d'autres effets bénéfiques.

Les chercheurs ont par ailleurs observé une corrélation entre la dynamique spatiale de ces nanofibres autoorganisées et l'effet biologique obtenu. En introduisant des mutations dans la zone intermédiaire, ils ont montré que les réseaux de nanofibres étaient plus ou moins mobiles. De façon inattendue, l'effet *in vivo* est plus important lorsque les mutations des peptides amphiphiles porteurs d'IKVAV et FGF2 ne sont pas les mêmes. Selon ces chercheurs, cette discordance empêcherait la formation de certaines liaisons physiques, ce qui rendrait la structure moins rigide et donc plus mobile. Cette meilleure mobilité favoriserait une interaction fructueuse avec les récepteurs cellulaires ciblés, eux-mêmes mobiles sur la membrane des neurones. ■

Noëlle Guillon

Z. Alvarez et al., *Science*, vol. 374, pp. 848-856, 2021

EN BREF

Manier un outil, une aide au langage

En 2019, des chercheurs ont montré une corrélation entre le fait d'être habile à manier des outils et de bonnes capacités à comprendre la syntaxe de certaines phrases complexes. Maintenant, Claude Brozzoli, du Centre de recherche en neurosciences de Lyon, et ses collègues ont découvert que ces deux habilités font appel à des ressources situées dans la même zone du cerveau. Ces résultats aideront à améliorer les méthodes de rééducation de personnes ayant perdu une partie de leurs compétences langagières.

Science, 11 novembre 2021

La pluie plus tôt que prévu

D'après les modèles climatiques les plus récents (CMIP6), la pluie pourrait être plus fréquente que la neige en Arctique durant l'été et l'automne dès les années 2060 ou 2070, soit plusieurs décennies plus tôt que prévu par les estimations précédentes. Michelle McCrystall, de l'université du Manitoba, au Canada, et ses collègues ont analysé plus en détail les simulations. Et de fait, l'Arctique se réchaufferait plus vite et serait plus sensible à la hausse des températures qu'attendu.

Nature Comm., 30 novembre 2021

Une collision « imminente »

Au cœur de la galaxie NGC 7727, à 89 millions d'années-lumière de la Terre, Karina Voggel, de l'observatoire de Strasbourg, et ses collègues ont découvert la paire de trous noirs supermassifs la plus rapprochée connue à ce jour. Grâce au télescope VLT, au Chili, ils ont montré que les deux objets sont à seulement 1 600 années-lumière l'un de l'autre. Dotés de masses de 154 millions et 6,3 millions de fois celle du Soleil, ils devraient fusionner dans... 250 millions d'années !

A & A, 30 novembre 2021

BIOLOGIE

LE SECRET DE L'ÉTONNANTE RÉSISTANCE DU CHARANÇON DU RIZ

Parmi les ravageurs des stocks de céréales, le charançon du riz, *Sitophilus oryzae*, est des plus redoutables. Pour s'en débarrasser, on utilise en général la fumigation de phosphine, un gaz toxique qui attaque le système nerveux et est réputé pour ne pas laisser de résidus sur les grains. Toutefois, depuis les années 1970, on observe une résistance croissante de l'insecte à ce traitement. Aussi, depuis plus de vingt ans, Abdelaziz Heddi, à l'Insa de Lyon et à l'Inrae, et ses collègues étudient ce charançon dans l'espoir de trouver d'autres moyens de lutte. Ils ont ainsi décrit la biologie de ce coléoptère dans ses moindres détails et viennent d'apporter une pierre cruciale à l'édifice : le séquençage de son génome.

Sitophilus oryzae commence sa vie au cœur même d'un grain que sa mère a creusé avant de déposer l'œuf et de sceller l'orifice à l'aide de sécrétions. En une trentaine de jours, la larve s'y développe et s'y métamorphose en un insecte adulte qui s'en extirpe alors. Comme nombre d'insectes croissant dans un milieu limité, le charançon du riz vit en symbiose avec une bactérie qui lui fournit des nutriments indisponibles dans les grains (des vitamines et des acides aminés). Ces dernières années, en étudiant cette symbiose, l'équipe a montré que celle-ci est récente (moins de 30 000 ans), et pourtant fort bien huilée.



Chaque femelle du charançon *Sitophilus oryzae* peut pondre jusqu'à 300 œufs, chacun dans un grain de riz ou d'autres céréales (ici du blé). L'insecte ne sort du grain qu'au stade adulte.

D'une part, la bactérie continue d'alimenter l'insecte au stade adulte et s'adapte à ses exigences physiologiques, malgré une métamorphose totale de l'animal, en colonisant son intestin. D'autre part, le charançon fournit aussi des nutriments à la bactérie et la protège en empêchant son système immunitaire de s'emballer. Le séquençage de son génome aide à comprendre comment cette symbiose s'est mise en place. En effet, environ 74% de ce génome est constitué de séquences répétées, dont la plupart sont des éléments dits « transposables », susceptibles de se déplacer dans le génome et de s'y multiplier. De tels éléments sont connus pour favoriser une adaptation rapide à des stress environnementaux. Autant de nouvelles pistes pour lutter contre le ravageur. ■

Marie-Neige Cordonnier

N. Parisot et al., BMC Biology, vol. 19, article 241, 2021

ASTROPHYSIQUE

UN ÉCLAT DE LUNE EN ORBITE

La Lune est le satellite naturel de la Terre, mais saviez-vous que la planète a aussi des quasi-satellites ? Ces objets suivent une orbite très proche de celle de la Terre. Ainsi, du point de vue de cette dernière, on a l'impression qu'ils évoluent autour de la planète alors qu'ils



Vue d'artiste de la Lune, du quasi-satellite Kamo'oalewa et de la Terre.

tourment autour du Soleil. L'un d'eux, Kamo'oalewa, a été découvert en 2016. Mais, comme tous ces objets, il est de petite taille, sombre et difficile à étudier. Par ailleurs, du fait de son orbite, il n'est visible que quelques semaines en avril chaque année. En 2021, pour en savoir plus sur cet objet, Benjamin Sharkey, de l'université d'Arizona, et ses collègues ont réalisé une analyse spectroscopique de la lumière réfléchie par Kamo'oalewa. Ils ont comparé les données à divers échantillons. Les caractéristiques spectrales de Kamo'oalewa suggèrent qu'il est constitué de silicates typiques de la Lune. Quelle est donc l'origine de cet objet ? La piste la plus probable est qu'il s'agit d'une roche lunaire éjectée lors d'un impact. ■

S. B.

B. N. L. Sharkey et al., Communications Earth & Environment, vol. 2, n° 231, 2021