

MICROBIOLOGIE

L'ARMURE DU PHAGE

Le phage Φ KZ entoure son ADN d'une capsule de protéines lorsqu'il infecte une bactérie, ce qui permet de déjouer le système immunitaire de cette dernière.

Invisible à nos yeux, une guerre entre virus et bactéries fait rage depuis des millions d'années. Du côté des bactériophages (ou phages) – les virus « mangeurs de bactéries » – il s'agit d'insérer de l'ADN viral dans la cellule bactérienne pour détourner sa machinerie et lui faire produire d'autres virus. Les bactéries, elles, cherchent à bloquer au plus tôt l'action du virus, par exemple en détruisant son ADN à l'aide d'enzymes, des endonucléases. Senén Mendoza et Joseph Bondy-Denomy, de l'université de Californie à San Francisco, et leurs collègues se sont intéressés au phage géant Φ KZ qui infecte *Pseudomonas aeruginosa*, une bactérie particulièrement résistante aux antibiotiques et de plus en plus souvent responsable chez l'humain d'infections graves. Les chercheurs ont montré que, lors de l'infection, ce virus déjoue les stratégies immunitaires de la bactérie en protégeant son ADN par une capsule de protéines.

Les endonucléases constituent la principale ligne de défense chez les bactéries. Parmi elles, les systèmes CRISPR-Cas reconnaissent chacun une séquence spécifique de l'ADN viral et la coupent. Certains virus sont résistants à un de ces systèmes, mais cette immunité est très spécifique. Senén Mendoza et ses collègues ont soumis différents virus infectant *P. aeruginosa* à une dizaine de CRISPR-Cas distincts. Étonnamment, Φ KZ s'est révélé résistant à toutes les endonucléases. Le virus est même insensible à EcoRI, une endonucléase produite par *Escherichia coli*, une bactérie que par ailleurs il n'infecte pas !

Quel mécanisme confère à ce phage une immunité aussi étendue ? Serait-ce une autre de ces caractéristiques connue depuis 2017 : ce virus géant entoure son ADN d'une coquille protéique lors de l'infection ? Pour le savoir, Senén Mendoza et ses collègues ont modifié des souches de *P. aeruginosa* pour qu'elles produisent des endonucléases fluorescentes. Grâce à cela, ils ont confirmé que les endonucléases de la bactérie étaient effectivement incapables de franchir la barrière protéique du virus. Toutefois, les chercheurs ont constaté que d'autres molécules continuaient de traverser cette coque : des protéines, comme ORF152,



Comprendre les interactions des bactéries et de leurs virus, les phages, est crucial à l'heure où l'antibiorésistance devient un problème de santé publique.

nécessaires aux virus notamment pour se dupliquer. L'armure de Φ KZ semble donc aussi jouer le rôle d'un filtre moléculaire.

Afin de s'en assurer, Senén Mendoza et ses collègues ont alors eu l'idée de fusionner l'enzyme EcoRI avec ORF152. Les bactéries *P. aeruginosa* produisant cette molécule hybride se sont révélées cinq fois plus résistantes aux bactériophages Φ KZ. De plus, des expériences de fluorescence ont confirmé que la molécule EcoRI-ORF152 traversait l'enveloppe protéique et digérait l'ADN viral.

L'armure du virus Φ KZ lui confère donc une résistance particulière aux défenses immunitaires bactériennes. Un nouveau pas vers la phagothérapie (l'utilisation des bactériophages pour endiguer les infections bactériennes), à l'heure où le développement de l'antibiorésistance devient un problème de santé publique. ■

CORALINE MADEC

S. Mendoza et al., *Nature*, vol. 577, pp. 244-248, 2020

EN BREF

L'ERECTUS INDONÉSIE REDATÉ

À Java, le site de Sangiran a livré le plus ancien *Homo erectus* indonésien. La datation argon-argon le plaçait à 1,6 million d'années, mais l'équipe de Shuji Matsu'ura, du Muséum national de Tsukuba, au Japon, vient d'infirmier cet âge. En combinant deux méthodes de datation, ces chercheurs ont établi que l'âge du tuff volcanique sous-jacent à la strate fossilifère n'excède pas 1,3 million d'années, ce qui est donc l'âge maximal possible du plus vieil *H. erectus* indonésien.

Science, 9 janvier 2020

UN AUTRE SURSAUT RADIO RÉPÉTITIF

Les sursauts radio rapides sont des éclairs radio extragalactiques, brefs et lumineux d'origine inconnue, certains répétitifs. Parmi la centaine de sources repérées, seulement quatre, dont une répétitive, ont été localisées dans une galaxie. Benito Marcote, du Consortium européen pour l'interférométrie à très longue base, vient de localiser une seconde source répétitive au sein d'une galaxie spirale massive, très différente des sources connues. Il y a de la diversité dans les sursauts radio rapides !

Nature, 6 janvier 2020

T. REX ADOLESCENTS

Autour de Holly Woodward, de l'université de l'Oklahoma, une équipe vient de réétudier la microstructure osseuse du fémur et du tibia de deux petits spécimens de tyrannosaures, sur la base desquels des paléontologues avaient défini une espèce naine, nommée *Nanotyrannus*. Il s'avère qu'il s'agissait d'individus immatures, dont la croissance annuelle dépendait de l'abondance en ressources, et que rien ne pousse à considérer comme des adultes nains. Il s'agissait en fait de *Tyrannosaurus rex* ados.

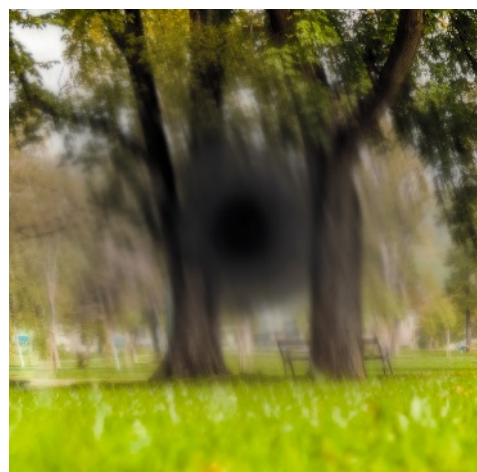
Sci. Adv., 1^{er} janvier 2020

MÉDECINE

UNE MEILLEURE RÉTINE ARTIFICIELLE

Pres d'un tiers des personnes de plus de 75 ans sont concernées en France par la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), une dégradation progressive de la rétine qui conduit à la perte de la vision centrale. D'où le besoin de développer pour ces malades une rétine artificielle. Dans cette optique, des chercheurs de l'Institut de la vision, menés par Serge Picaud, de l'Inserm, élaborent avec la société Pixium Vision une très prometteuse prothèse nommée Prima. L'idée est de remplacer les photorécepteurs de la rétine, perdus dans ces pathologies, par une stimulation électrique du tissu résiduel avec des électrodes posées sur ou sous la rétine.

« Dans les précédents modèles commercialisés, le courant doit revenir à une masse commune distante, ce qui entraîne une diffusion très large des courants. Le recouvrement des zones stimulées par des électrodes voisines entraîne une mauvaise résolution finale », décrypte Serge Picaud. L'implant Prima intègre, lui, une grille de masse en nid d'abeille entourant chacune des électrodes au centre d'une alvéole. Les courants électriques sont directement récupérés sur cette grille de masse et empêchent ainsi la diffusion vers une électrode voisine.



© Martina Bardini/Shutterstock

Les malades atteints de DMLA perdent la vision centrale, que des rétines artificielles permettraient de récupérer.

Après des essais concluants sur un modèle de macaque, le dispositif a été implanté chez cinq patients atteints de DMLA. La prothèse positionnée sous la rétine est activée à distance en lumière infrarouge par des lunettes équipées d'une minicamera et d'un projecteur d'images. « Trois patients retrouvent peu à peu une vision centrale et parviennent déjà à lire des lettres et des mots », précise Serge Picaud. D'autres essais cliniques seront lancés cette année. ■

NOËLLE GUILLON

P.-H. Prévot et al., *Nature Biomedical Engineering*, en ligne le 2 décembre 2019.

PRÉHISTOIRE

UNE SCÈNE DE CHASSE DE 44 000 ANS

Sur l'île indonésienne des Célèbes, Maxime Aubert, de l'université Griffith, en Australie, et des collègues ont découvert la plus ancienne œuvre figurative connue. Elle se trouve dans la grotte de Sipong 4, dans la région karstique de Maros-Pangkep, un paysage spectaculaire de tours et de falaises calcaires du sud de l'île. Six minuscules chasseurs affrontent, cordes et lances à la main, un énorme bovidé. Sur le même panneau, d'autres traquent d'autres bovidés ainsi que des cochons sauvages. Tous semblent humains, mais ils présentent plusieurs traits animaux : une queue, un bec... De tels êtres mi-humains mi-animaux, ou « thérianthropes », sont considérés comme des marqueurs de spiritualité. Les chercheurs ont daté par la méthode uranium-thorium des dépôts de calcite recouvrant partiellement



© Raimo Sardi

Dans la plus ancienne peinture rupestre connue, découverte dans l'île des Célèbes, des êtres mi-humains mi-animaux semblent en train de chasser un gros bovidé.

l'œuvre. Des valeurs obtenues, ils concluent que le panneau de la grotte Sipong 4 a au moins 43 900 ans – un record. ■

F. S.

M. Aubert et al., *Nature*, vol. 576, pp. 442-445, 2019

DES VÉNUS GRAVETTIENNES EN PICARDIE

À Amiens, l'équipe de Clément Paris, de l'Institut national de recherche en archéologie préventive (Inrap), vient de mettre au jour un campement de chasseurs de chevaux magnifiquement conservé. Outre de nombreuses traces d'activité, les archéologues ont retrouvé dans cette station de plein air du Gravettien (culture datant de 31 000 à 22 000 ans) une quinzaine de statuettes éclatées par le gel. L'une d'entre elles n'était cassée qu'en trois morceaux, qui ont pu être rapidement réassemblés (*ci-contre*) et former en quelque sorte la « Miss Picardie de l'année – 27 000 » !

Cette sculpture a tous les attributs d'une beauté des temps gravettiens : une poitrine généreuse, de grosses cuisses, des fesses volumineuses et un ventre bombé – peut-être celui d'une femme enceinte. Les bras sont à peine esquissés et les jambes tronquées sous les genoux. Le visage est absent, ce qui est presque toujours le cas sur les figurines de cette culture.

Quelle était la fonction de telles statuettes ? Manifestement, elles ne représentent pas les Gravettiennes du quotidien, qui étaient sans doute aussi chaudement vêtues que des femmes inuits. Pour les préhistoriens, il s'agit d'amulettes liées à la reproduction valorisant le type de physique féminin particulièrement apte à surmonter une maternité, puis à assurer la survie de l'enfant dans les températures glaciales de l'époque : des femmes bien en chair... ■

F. S.

Communiqué de l'Inrap, 4 décembre 2019
www.inrap.fr/decouverte-d-une-venus-paleolithique-amiens-14779

La vénus gravettienne d'Amiens
vue sous ses quatre faces.



© Stéphane Lancelot / Inrap

1 cm



Le site gravettien d'Amiens-Renancourt est très bien préservé, car il se trouvait sous 4 mètres de loess et au-dessus de 4 mètres de sédiment éolien très fin, accumulé en masse à la périphérie des glaciers.



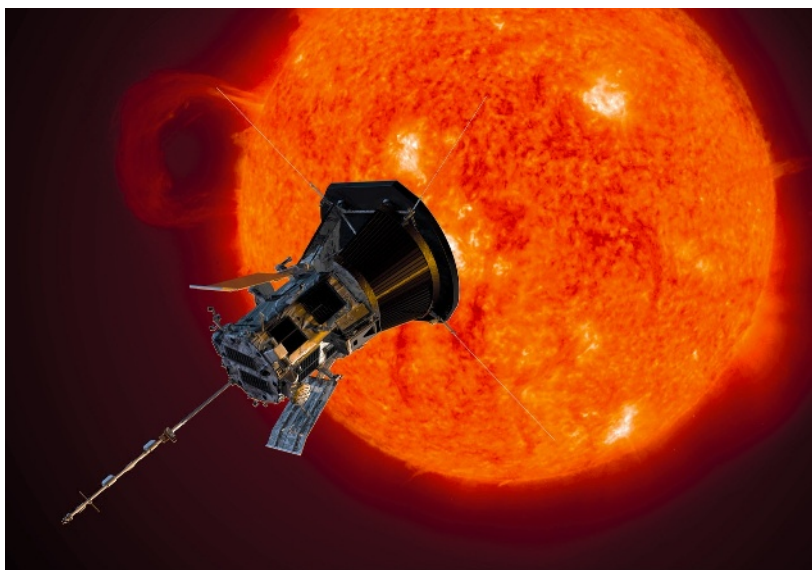
ASTROPHYSIQUE

LES PREMIÈRES MESURES DE PARKER AUTOUR DU SOLEIL

La sonde *Parker*, lancée en 2018, survole le Soleil de près. Ses premières mesures suggèrent que le champ magnétique de l'étoile est plus complexe qu'on ne le pensait.

Parfois, ce ne sont pas les mondes les plus lointains qui recèlent les plus grands mystères. Beaucoup de questions à propos du Soleil, 250 000 fois plus près que la deuxième étoile la plus proche de nous, restent aujourd'hui sans réponse. Par exemple, on ne sait pas pourquoi la couche de gaz située autour du Soleil est 200 fois plus chaude que la surface de l'étoile elle-même. C'est pour répondre à ces questions, et mieux connaître cet astre en général, que la sonde *Parker* (ou PSP, pour *Parker solar probe*) a été lancée par la Nasa en août 2018. Dotée d'une batterie d'instruments scientifiques de haute précision, elle réalise la mission d'exploration la plus proche du Soleil jamais réalisée. Les premières données recueillies ont déjà été exploitées par une équipe constituée majoritairement de scientifiques américains et français; les résultats sont surprenants, notamment sur la forme des lignes de champ magnétique du Soleil, qui présenteraient des «méandres».

Pour étudier le champ magnétique solaire, *Parker* s'est déjà approchée plusieurs fois très près du Soleil – une fois par révolution –, la quatrième étant prévue ce 29 janvier pour une distance d'environ 28 rayons solaires, ou 19 millions de kilomètres. À la grande surprise des chercheurs, le champ magnétique de l'astre, enregistré pendant plusieurs semaines par la suite d'instruments *Fields*, a subi des inversions très fréquentes, changeant parfois de polarité toutes les quelques minutes. Une équipe a également étudié les particules du vent solaire durant ces inversions, grâce à l'instrument *Sweep*. Le vent solaire est un flux de particules chargées électriquement – surtout des électrons et des protons –, provenant de l'atmosphère du Soleil et éjectées dans l'espace. *Sweep* a mesuré les caractéristiques de ces particules accélérées à des vitesses très importantes à proximité de l'étoile, et les chercheurs en ont déduit que les inversions du champ magnétique surviennent conjointement à des jets de particules supersoniques alimentant le vent solaire. Ces deux phénomènes corrélés proviendraient d'éruptions solaires qui seraient aussi impliquées dans le processus de chauffage de la couronne solaire, cette région



La sonde *Parker* (ici une vue d'artiste) réalise une mission de plus de sept ans durant laquelle elle s'approchera, au total, 26 fois du Soleil. L'objectif ? Étudier le vent et la couronne solaires.

**$6,9 \times 10^6$
kilomètres**

C'EST LA DISTANCE À LAQUELLE PARKER S'APPROCHERA DU SOLEIL AU PLUS PRÈS, LORS DE SA 26^e APPROCHE, LE 12 DÉCEMBRE 2025. AVANT LE LANCEMENT DE CETTE SONDE, LE RECORD ÉTAIT DÉTENU PAR HELIOS 2, QUI, EN 1976, S'ÉTAIT APPROCHÉE À ENVIRON 43 MILLIONS DE KILOMÈTRES DE L'ÉTOILE, SOIT SIX FOIS PLUS LOIN.

externe et diffuse de l'atmosphère de l'étoile dont la température est étonnamment élevée – de l'ordre du million de degrés.

Deux autres séries de mesures ont étonné les astrophysiciens. L'instrument *Isis* détecte des particules très énergétiques qui se déplacent beaucoup plus vite que le plasma du vent solaire. Des mesures relatives à leur trajectoire suggèrent que le champ magnétique solaire a une forme beaucoup plus complexe qu'on ne le pensait. Les scientifiques estiment ainsi que les lignes de champ sont déformées par des événements proches du Soleil et comportent des motifs en «S»: elles «font demi-tour». En outre, les images fournies par l'instrument *Wispr* ont révélé une couche proche du Soleil totalement dépourvue de poussières interstellaires. Toute une série de découvertes intéressantes qui ne sont que le début de l'aventure *Parker*, prévue pour durer encore six ans. ■

LUCAS GIERCZAK

D. McComas *et al.*, *Nature*, vol. 576, pp. 223-227, 2019 ;
J. C. Kasper *et al.*, *ibid.*, pp. 228-231 ;
R. A. Howard *et al.*, *ibid.*, pp. 232-236 ;
S. D. Bale *et al.*, *ibid.*, pp. 237-242

BIOLOGIE

UN GROS BEC PARADOXAL

Selon une règle biologique empirique, la règle d'Allen, les animaux vivant dans le froid ont des appendices plus courts que ceux des milieux chauds, car cela leur permet de garder leur chaleur corporelle. Pourtant, le macareux huppé (*Fratercula cirrhata*), un oiseau du nord du Pacifique, a un gros bec. À l'aide d'une caméra thermique, Hannes Schraft, de l'université de San Diego, en Californie, et des collègues ont mesuré la température du bec et du dos de 50 macareux tout juste posés. Ils constatent que, 30 minutes après l'atterrissage, elle n'a pas changé sur le dos, mais a baissé de 5 °C sur le bec. Ce gros appendice présente ici l'intérêt d'évacuer efficacement la chaleur corporelle excessive du macareux, accumulée durant son vol, très énergivore. ■

SOPHIA CONDEMI-PIGNÈDE

H. A. Schraft et al., *Journal of Experimental Biology*, vol. 222, article 212563, 2019

PALÉONTOLOGIE

LA FORÊT LA PLUS ANCIENNE

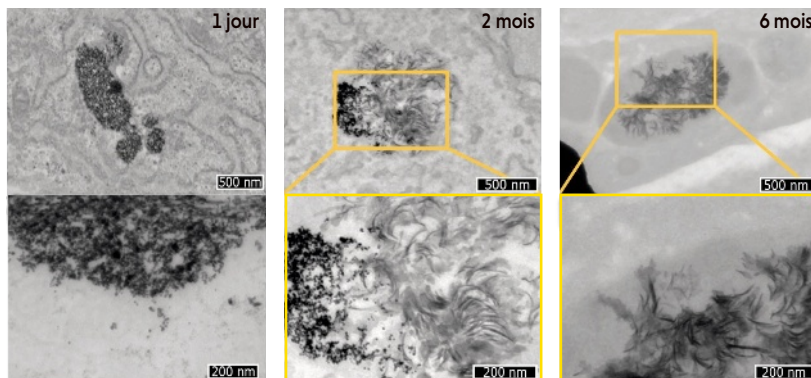
Il y a entre 393 et 383 millions d'années, au Dévonien moyen, la Terre a subi des changements considérables. La composition de l'atmosphère, le climat et la couverture végétale ont évolué très rapidement – marquant notamment l'apparition des arbres –, mais les effets respectifs de ces facteurs restent mal connus. William Stein, de l'université d'État de New York à Binghamton, et ses collègues ont mis au jour, dans l'État de New York, des fossiles de plusieurs végétaux. Outre des fougères anciennes, ils ont identifié des arbres du genre *Archaeopteris*, vieux de 386 millions d'années – ce qui fait du site la plus vieille forêt fossile connue. Dotés de systèmes racinaires larges d'une dizaine de mètres, ces végétaux sont considérés comme les premiers arbres modernes, proches des plantes à graines. Une découverte qui précise leur rôle charnière dans l'évolution de la biosphère. ■

L. G.

W. E. Stein et al., *Current Biology*, en ligne le 19 décembre 2019

BIOPHYSIQUE

DES NANOPARTICULES D'OR PAS SI STABLES



Ces images de lysosomes obtenues par microscopie électronique à transmission montrent, à deux grossissements différents et à différents moments (1 jour, 2 mois et 6 mois) après l'incorporation des nanoparticules d'or, la raréfaction des nanoparticules initiales et l'apparition progressive de structures plus diffuses, où l'or se présente sous forme de feuillets constitués de nanoparticules plus petites qu'initialement.

Alors que l'intérêt pour les nanoparticules d'or appliquées à la médecine est en plein essor, on en sait peu sur le devenir à long terme de ces objets dans le corps humain. On les supposait biologiquement inertes, se stockant indéfiniment dans les tissus sans en altérer la structure. Cependant, une équipe menée par Florence Gazeau et Florent Carn, de l'université de Paris, a découvert qu'au bout de quelques mois, les nanoparticules finissent par se dissoudre avant de recristalliser sous une forme différente.

Les chercheurs ont incubé des cellules humaines avec des nanoparticules d'or sphériques de tailles bien déterminées – de 4 nanomètres à 22 nanomètres. Puis ils ont examiné au microscope électronique ces cellules pendant plus de six mois, en prélevant un échantillon à plusieurs moments différents.

Après 24 heures, les nanoparticules d'or se trouvent séquestrées, sans altération, dans les lysosomes des cellules, ces compartiments étanches qui servent, dans ce cas, de « poubelles » cellulaires. En revanche, les semaines suivantes, les nanoparticules initiales se raréfient tandis que se multiplient, toujours dans les lysosomes, des structures plus diffuses et plus étendues. Par microscopie électronique à transmission à haute résolution, les chercheurs ont mis en évidence que ces structures diffuses, qui semblent stables, se composent de feuillets formés de nanoparticules d'or de 2,5 nanomètres.

Afin de saisir le mécanisme de cette transformation, l'équipe parisienne a voulu déterminer les gènes particulièrement actifs lors de ce processus. Les premiers à être activés correspondent à des enzymes de type oxydase, dont le rôle est de dissoudre les corps étrangers dans les lysosomes : en produisant des dérivés très réactifs de l'oxygène, elles transforment l'or métallique en ions Au⁺, solubles dans l'eau. Puis des protéines d'un autre type, les métallothionéines, entrent en jeu. Comme elles contiennent de nombreux atomes de soufre, qui a une forte affinité avec l'or, elles contribuent à la biocrystallisation de l'or et à l'agencement final de ces structures nanocristallines en feuillets.

Ces travaux mettant en question l'inaltérabilité de l'or dans les cellules, les chercheurs doivent désormais étudier l'impact de cette dégradation sur la toxicité éventuelle et l'élimination des nanoparticules d'or dans l'organisme. ■

MARTIN TIANO

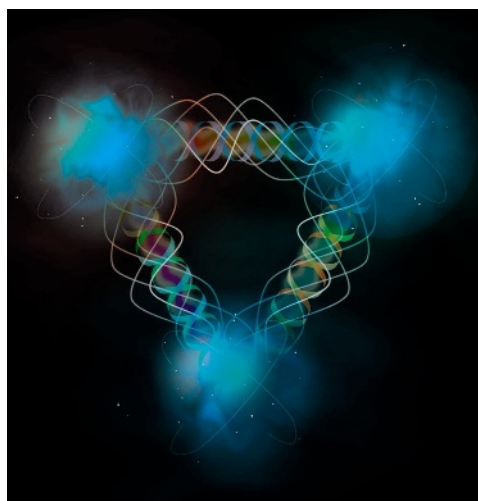
A. Balfourier et al., *PNAS*, vol. 117(1), pp. 103-113, 2020

PHYSIQUE

TRIOS D'ATOMES IRRÉGULIERS

L'effet Efimov est un phénomène quantique surprenant : trois atomes identiques se lient de façon stable, là où deux seulement n'auraient pas fait bon ménage. Prédites par le physicien russe Vitaly Efimov en 1970, ces configurations ont été observées expérimentalement à partir de 2006. Une grandeur semblait indépendante de l'espèce atomique considérée : le rayon de l'état fondamental. Cette uniformité est aujourd'hui tempérée par Eric Cornell, de l'université du Colorado, aux États-Unis, et ses collègues, qui viennent de faire une mesure de rayon incompatible avec cette règle d'universalité.

Des forces électromagnétiques s'exercent entre des atomes proches ; leur portée est décrite par la longueur de Van der Waals, propre à chaque élément. Avec deux atomes, la configuration n'est pas forcément stable, mais l'ajout d'un troisième stabilise parfois le système, en formant un triangle équilatéral d'atomes identiques nommé « état d'Efimov ». Comme ce phénomène est de nature quantique, l'ensemble des tailles (ou rayons) des états d'Efimov est discret : ces configurations sont soit dans l'état fondamental – avec un rayon minimal – soit dans un des états excités possibles, plus grands en taille. C'est le rapport de ce rayon minimal par la longueur de Van der



Dans un état d'Efimov, trois atomes identiques se lient de façon stable à très basse température.

Waals des atomes qui semblait universellement proche de 9, comme l'ont confirmé des modèles théoriques. Mais les expériences d'Eric Cornell et ses collègues remettent en question cette universalité. Avec des atomes de potassium 39, ces chercheurs ont obtenu une mesure très précise de ce rapport : environ 14. Une déviation qu'ils ont expliquée par un nouveau modèle plus réaliste. ■

L. G.

R. Chapurin et al., *Physical Review Letters*, vol. 123, article 233402, 2019

BIOPHYSIQUE

L'ARMURE FLEXIBLE DES CHITONS

La nature est une source d'inspiration essentielle pour les ingénieurs : la ventouse ou le Velcro sont des exemples frappants de biomimétisme réussi. Matthew Connors, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), aux États-Unis, et son équipe ont cette fois étudié les écailles arborées par certains mollusques marins, les chitons, et montré qu'elles leur assuraient une défense contre les prédateurs susceptible d'inspirer des protections pour les humains. Ces animaux disposent d'une carapace articulée constituée de sept ou huit plaques rigides entourée d'une ceinture musculaire. Or cette dernière conjugue deux avantages difficiles à concilier : une forte résistance à la pénétration d'objets piquants ou tranchants, et une grande déformabilité. Une prouesse rendue possible par les écailles, courbées, rigides et coulissantes,



La ceinture musculaire des chitons est tapissée d'écailles rigides coulissantes qui résistent à la pénétration.

mesurant entre 100 et 500 micromètres en hauteur, qui recouvrent la ceinture : un objet pointu glisse sur la surface des écailles et se coince entre elles. ■

L. G.

M. Connors et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 5413, 2019

EN BREF

MINI-ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES

Les accélérateurs de particules sont en général très longs, et on cherche à les miniaturiser. Neil Sapiro, de l'université Stanford, aux États-Unis, et ses collègues ont construit un accélérateur de quelques dizaines de micromètres de long à partir d'un bloc de silicium. Les électrons y sont accélérés à une énergie de près de 1 kiloélectronvolt par des impulsions laser infrarouges se faufilant à travers des nanostructures creusées dans le métal. Une énergie modeste en valeur absolue, mais très élevée par rapport à la longueur d'accélération.

Science, vol. 367, pp. 79-83, 2020

TREMBLEMENTS DE MARS

Après que les scientifiques ont détecté des séismes sur la Lune dans les années 1970, c'est au tour de Mars ! Les sismomètres de la mission d'exploration *InSight*, de la Nasa, ont en effet mis en évidence un grand nombre de séismes d'une magnitude jusqu'à 4 – plus de 300 en un peu plus d'un an. L'étude de ces secousses met en évidence des zones géologiquement actives à l'intérieur de la planète et renseigne sur les différentes couches de sa structure interne.

POURQUOI DES BALEINES SI GROSSES ?

La taille des animaux est notamment contrainte par la quantité d'énergie obtenue en se nourrissant. En étudiant le comportement de plus de cent baleines, Jeremy Goldbogen, de l'université Stanford, aux États-Unis, et ses collègues ont montré que la taille considérable de ces mammifères est permise par le peu d'effort que leur demande la capture du krill – abondant et concentré dans l'espace et le temps – par rapport à l'énergie apportée par ces crevettes.

Science, vol. 366, pp. 1367-1372, 2019

LES INTERACTIONS COMPLEXES DE LA TRUFFE SE RÉVÈLENT

La truffe pousse grâce à une symbiose avec un arbre, mais elle serait aussi connectée à d'autres plantes. Ce réseau expliquerait le « brûlé » autour de l'arbre hôte.

En France, la production de la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum*), un champignon prisé pour son organe charnu et son puissant parfum, n'est que de 10% de ce qu'elle était en 1900. Aujourd'hui, la majorité des truffes sont obtenues par inoculation de plantations d'arbres avec ces champignons. Mais le résultat est souvent incertain. Il y a donc un enjeu crucial à comprendre ce qui favorise la croissance de la truffe. Celle-ci se développe grâce à une symbiose avec un arbre, interaction qui ne semble cependant pas exclusive. En effet, autour de l'arbre hôte, on observe souvent une zone de « brûlé » où les plantes sont moins denses et moins diverses. Pour en comprendre l'origine, Marc-André Selosse, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et ses collègues de l'Inrae de Dijon, Montpellier et Nancy, ont étudié comment la truffe établit des relations avec les plantes environnantes.

Les producteurs de truffes ont développé une connaissance empirique des facteurs qui favorisent la croissance de leurs champignons. Par exemple, ils ont constaté que certaines « plantes compagnes » avaient un effet positif sur le développement de la truffe noire. Pour préciser ce rôle, les chercheurs ont étudié, en milieu contrôlé, 140 jeunes chênes verts (*Quercus ilex*), soit seuls, soit encadrés par deux plantes compagnes d'une même espèce (parmi six dans l'étude). La moitié des arbres étaient inoculés avec de la truffe noire. L'équipe a alors suivi la croissance des plantes et du mycélium, les filaments microscopiques de la truffe, dans les différents cas.

La symbiose entre la truffe et l'arbre se fait par l'interaction du mycélium et des racines de l'arbre. La truffe procure de l'azote et du phosphore à l'arbre et se nourrit en retour de la matière organique (des sucres) synthétisée par ce dernier. Quel serait alors le rôle des plantes compagnes ? Une hypothèse déjà avancée est que les truffes parasiteraient les ressources de ces plantes, limitant ainsi leur croissance, ce qui expliquerait en partie le brûlé. Dans une première étude, l'équipe de Marc-André Selosse a montré que le mycélium des truffes



Ce ciste cotonneux (*Cistus albidus*) est en symbiose avec une truffe. Ce dernier interagit aussi avec les plantes voisines. Ce faisant, il les prive d'azote et de phosphore et limite leur croissance. Il se forme une zone pauvre en plantes nommée « brûlé ».



Cette observation au microscope confocal de racines de luzerne révèle la présence de mycélium de truffe (en rouge).

colonise effectivement les racines des plantes du brûlé.

Dans leur milieu contrôlé, les chercheurs ont constaté que, dans les systèmes inoculés avec des truffes, les plantes compagnes ont toujours un rôle positif sur le développement de la truffe, et cela pour toutes les espèces testées (même celles réputées néfastes). Et effectivement, les plantes compagnes se développent moins en présence de ces champignons, qui les priveraient d'azote et de phosphore. Le chêne semble profiter également, de façon indirecte, de ce détournement de ressources.

Par ailleurs, les truffes inhiberaient la germination spontanée de graines apportées par le vent. La combinaison de tous ces effets suffit à expliquer l'origine du brûlé autour de l'arbre hôte. Cependant, les mécanismes précis de l'interaction des truffes avec les plantes compagnes et les graines en germination restent à éclaircir. ■

SEAN BAILLY

L. Schneider-Maunoury et al., *New Phytologist*, 16 novembre 2019 ; E. Taschen et al., *Plants and Soil*, 30 novembre 2019