

GÉOSCIENCES

LES BACTÉRIES INFLUENT SUR LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

La séquestration du carbone dans les roches basaltiques paraît prometteuse, mais les bactéries vivant dans ces milieux réagissent à l'injection de CO₂.

Une équipe internationale dirigée depuis l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) par Bénédict Ménez vient de glisser un grain de carbonate dans les espoirs de séquestration du dioxyde de carbone (CO₂) au sein des basaltes profonds. Les chercheurs ont montré que lorsqu'on y injecte de l'eau saturée en dioxyde de carbone, les bactéries qui vivent dans les eaux de ces aquifères basaltiques réagissent fortement et influencent la fixation du carbone.

Depuis 2007, la séquestration du dioxyde de carbone dans les basaltes est l'objet du projet de recherche international *Carbfix* mené sur des basaltes islandais et soutenu par l'Union européenne. Publiés en 2016, les résultats d'un essai d'injection de 175 tonnes de dioxyde de carbone dans les basaltes d'une coulée de lave sont très encourageants : ils suggèrent qu'en deux ans, la quasi-totalité du carbone injecté s'est minéralisée.

En fonction des évolutions du pH ambiant, les silicates de magnésium, de fer, de calcium et d'autres minéraux formant le basalte réagissent en effet avec le dioxyde de carbone apporté par l'eau injectée pour former des carbonates de fer (sidérite), de calcium (calcite), de magnésium (magnésite), etc. Il semble que la formation de carbonates soit optimale lorsque le pH est assez élevé pour qu'elle ait lieu, mais pas trop pour éviter les formations de zéolithes (des aluminosilicates) et de smectites (des argiles), lesquelles concurrencent les carbonates. Dans les basaltes testés, où la température est basse (20-50°C), le pH optimal se situerait entre 5,2 et 6,5 – point dont il faudrait tenir compte en préparant les eaux d'injection.

Mais à des températures aussi modérées, les aquifères basaltiques contiennent aussi de la vie. C'est pourquoi les géomicrobiologistes de l'IPGP se sont intéressés à ses effets sur la séquestration du dioxyde de carbone. Les chercheurs ont montré que les nombreuses communautés bactériennes des basaltes profonds réagissent fortement et en quelques semaines à l'arrivée d'eaux acidifiées par la dissolution de dioxyde de carbone. Les ions de fer, de magnésium et de calcium et des composés aromatiques contenus dans la matrice siliceuse



Prélevée sur le site d'injection du dioxyde de carbone dans l'aquifère basaltique islandais, cette carotte révèle la présence de minéraux carbonatés à l'intérieur de la roche.

95 %

DU CARBONE INJECTÉ DANS LE BASALTE AURAIT ÉTÉ FIXÉ DANS LA ROCHE SOUS LA FORME DE CARBONATES EN DEUX ANS, ONT CLAMÉ LES AUTEURS DE L'ESSAI CARBFIX EN 2016. TOUTEFOIS, C'ÉTAIT COMPTER SANS LES BACTÉRIES, DONT LES EFFETS RESTENT À PRÉCISER...

constituent en effet autant de nutriments et de sources d'énergie pour les bactéries. Leur libération par l'arrivée d'eau acide entraîne la prolifération de certains types de bactéries. Ainsi, l'équipe de l'IPGP a mis en évidence l'efflorescence de bactéries chimiolithoautotrophes (se nourrissant de minéraux contenus dans la roche) ferroxydantes qui utilisent le CO₂ comme source de carbone et d'autres qui servent pour dégrader les composés aromatiques complexes.

Ces activités microbiennes influent sur le devenir du CO₂ injecté de plusieurs façons : tout d'abord, une partie du carbone est convertie en biomasse au lieu de l'être en carbonate ; ensuite, en oxydant le fer, les bactéries modifient la disponibilité des éléments nécessaires à la formation des carbonates et l'efficacité de la dissolution des silicates, la principale composante des basaltes. Enfin, dans des environnements de basse température où le vivant peut se développer – en clair, partout où la température est inférieure à 120°C –, l'efficacité du stockage minéral pourrait être réduite à long terme. Les chercheurs s'attellent à quantifier cet effet. ■

FRANÇOIS SAVATIER

R. Trias et al., *Nature Communications*, en ligne, 20 octobre 2017

EN BREF

ORANG-OUTAN, UNE TROISIÈME ESPÈCE

En 1997, une population isolée d'orangs-outans avait été découverte près de Batang Toru, à Sumatra. L'analyse génétique et morphologique effectuée par Alexander Nater, de l'université de Zurich, et ses collègues a montré qu'il s'agit d'une nouvelle espèce. Cela porte à sept le nombre de grands singes non humains connus (trois espèces d'orangs-outans, deux de gorilles, les chimpanzés et les bonobos). *Pongo tapanuliensis* se serait séparé génétiquement des autres orangs-outans il y a 3,4 millions d'années. Sa population ne comptant que 800 individus, l'espèce est menacée d'extinction.

UNE EXOPLANÈTE HORS NORME

De la taille de Jupiter, mais en orbite autour d'une étoile deux fois plus petite que le Soleil, NGTS-1b est, rapportée à la taille de son étoile, la plus grande exoplanète connue. Pour Daniel Bayliss, de l'université de Genève, et ses collègues, cette planète remet en question les modèles de formation de ces corps. En effet, on pensait qu'autour d'une petite étoile, trop peu de matière (gaz et poussières) est disponible pour former une planète si grande.

L'ODEUR DU DURIAN DÉCRYPTÉE

Le durian (*Durio zibethinus*) est un fruit d'Asie du Sud-Est très consommé dans la région. Mais, mûr, le fruit dégage une odeur si désagréable qu'il est interdit dans certains lieux publics. Bin Tean Teh, de l'institut de biologie moléculaire et cellulaire de Singapour, et ses collègues ont séquencé le génome du durian. Avec ses 46 000 gènes (le double de l'homme), il serait un lointain parent du cacao. Les chercheurs ont aussi identifié une classe de gènes très actifs qui régulent la production de composés volatils sulfurés à l'origine de l'odeur.

PHYSIQUE

UN TROU DE VER LIQUIDE

Prenons un canal de 7 mètres dans lequel circule de l'eau. Une bosse au fond du canal accélère le courant de sorte qu'une vague qui remonte le courant est trop lente pour franchir l'obstacle et est réfléchie vers l'aval. Cependant, en prenant en compte les effets microscopiques de tension de surface, on remarque qu'une petite onde, dite capillaire continue à se propager vers l'amont. Elle est toutefois vite dissipée par les effets de viscosité. Germain Rousseaux et Léo-Paul Euvé, du laboratoire Pprime à Poitiers, ont montré expérimentalement que l'onde peut néanmoins dépasser l'obstacle et redonner une onde normale qui poursuit sa course vers l'amont.

L'intérêt de cette expérience est l'analogie mathématique qu'elle présente avec un trou de ver astrophysique, une solution des équations de la relativité générale qui relie deux régions distinctes de l'Univers. Dans les années 1980, le physicien canadien William Unruh avait proposé d'utiliser des systèmes hydrodynamiques pour étudier les trous noirs (des régions de l'Univers où l'espace-temps est si courbé que même la lumière ne peut s'en échapper) du fait de certaines analogies. En 2016, Léo-Paul Euvé, Germain Rousseaux et leurs collègues ont ainsi mis en évidence dans un courant d'eau un phé-



Un trou de ver est un objet théorique qui relie deux régions distantes de l'Univers.

nomène analogue à la faible émission des trous noirs, le rayonnement de Hawking.

Cette fois, leur expérience s'apparente à un hypothétique trou de ver entre un trou noir et un trou blanc, le renversement temporel d'un trou noir. Or de nombreuses questions se posent sur ces trous de vers: se réalisent-ils dans la nature? Sont-ils stables? Peuvent-ils être traversés dans les deux sens? À cette dernière interrogation, les deux chercheurs viennent de répondre par l'affirmative... tout du moins dans sa version hydrodynamique! ■

S. B.

L.-P. Euvé et G. Rousseaux, *Phys. Rev. D*, vol. 96, article 064042, 2017

PALÉONTOLOGIE

COELACANTHE SUISSE MUTANT

Les coelacanthes actuels passent souvent pour des «fossiles vivants», car certains traits de leur anatomie ont très peu changé par rapport à ceux des anciens représentants connus du groupe, il y a 400 millions à 70 millions d'années. Mais le fossile d'une nouvelle espèce datée de 240 millions d'années, *Foreya maxkuhni*, découvert en Suisse, révèle que leur morphologie était déjà plus variée qu'on ne le pensait. L'animal présente un aspect curieux, avec son crâne pointu, sa petite mâchoire et son corps court. Lionel Cavin, du Muséum d'histoire naturelle de Genève, et ses collègues attribuent cette différence à une évolution hétérochrone, c'est-à-dire qu'une unique mutation sur l'un des gènes du développement s'exprimant au stade embryonnaire aurait produit des changements importants.



Vue d'artiste du coelacanth dont le fossile a été retrouvé en Suisse. Il vivait probablement en eaux peu profondes.

Ce «saut évolutif» a peut-être constitué un avantage sélectif pour ce poisson. Doté de cette morphologie, il a pu coloniser des zones côtières peu profondes, alors que les coelacanthes actuels vivent dans les profondeurs. ■

S. B.

L. Cavin et al., *Scientific Reports*, vol. 7, article 13695, 2017

EN IMAGE

UN MICROROBOT QUI VOLE, PLONGE, NAGE ET REFAIT SURFACE

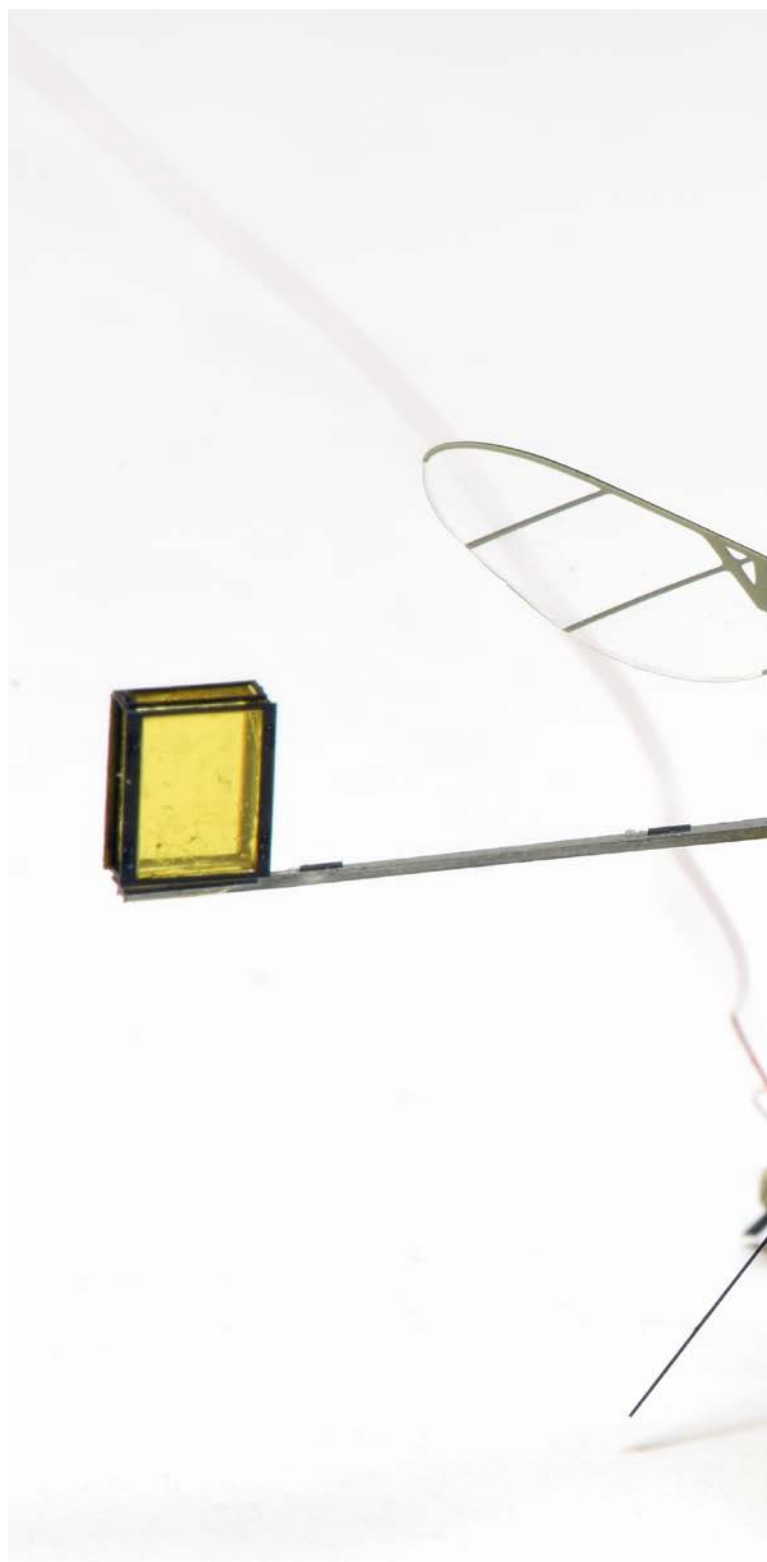
RoboBee, nouvelle génération de robots ailés de quelques centimètres, pesant 175 milligrammes, est environ 1000 fois plus léger que ses prédécesseurs capables de voler et nager. Évoluer entre air et eau pose de nombreux défis. L'eau étant beaucoup plus dense que l'air, il est d'abord nécessaire d'adapter le rythme du battement des ailes en fonction du milieu où le robot se trouve. Si la fréquence de battement dans l'air est trop faible, la portance est insuffisante et le robot tombe; si la fréquence de battement dans l'eau est trop élevée, les ailes cassent. Le robot peut se mouvoir sans difficulté dans les deux milieux en adaptant la fréquence: de 220 à 300 hertz dans l'air, entre 9 et 13 hertz dans l'eau.

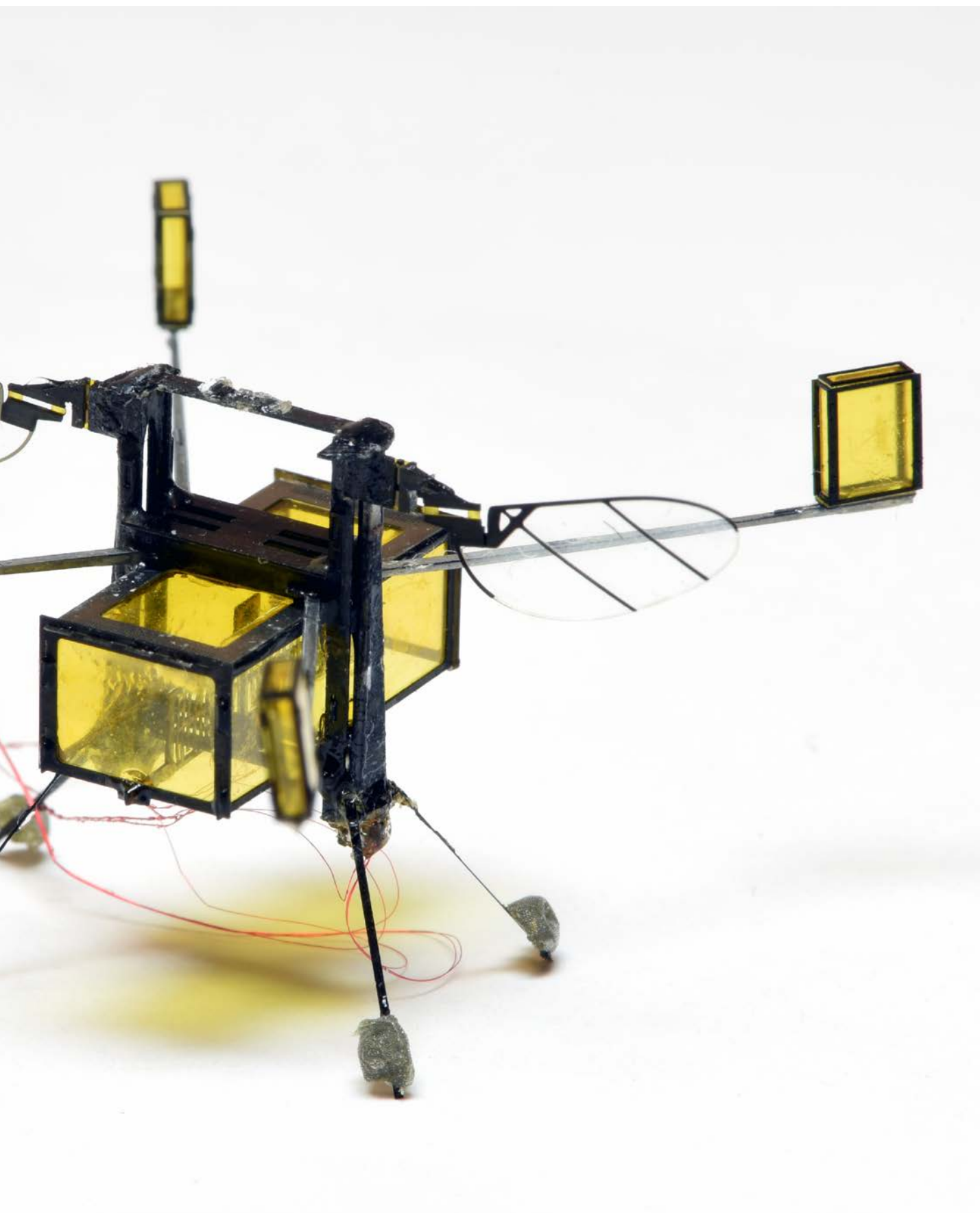
Par ailleurs, l'interface air-eau constitue un défi complexe pour un robot de poids plume. En effet, la tension de surface, qui permet à certains insectes de marcher sur l'eau sans couler, rend difficile la pénétration dans le milieu liquide pour le robot. L'impact et des bords acérés permettent de percer cette barrière. Mais, encore plus difficile, comment ressortir de l'eau et redécoller? Les concepteurs de RoboBee, Yufeng Chen, de l'université Harvard, et ses collègues, ont imaginé une stratégie originale. Lorsque le robot arrive près de la surface, un système de plaques électrolytiques produit du gaz à partir de l'eau, de l'oxyhydrogène (mélange H_2 - O_2 en proportions 2:1) qui remplit un compartiment sous le robot. L'augmentation de la poussée d'Archimède pousse alors le robot vers le haut et fait émerger ses ailes. Pour arracher le robot du fluide, une étincelle déclenche la combustion du gaz, qui propulse le robot dans l'air.

De nombreuses applications sont envisagées pour de tels robots volants et plongeurs, depuis la surveillance de l'environnement à des missions de recherche pour aider des équipes de secours. ■

S. B.

Y. Chen *et al.*, *Science Robotics*,
vol. 2, article eaao5619, 2017





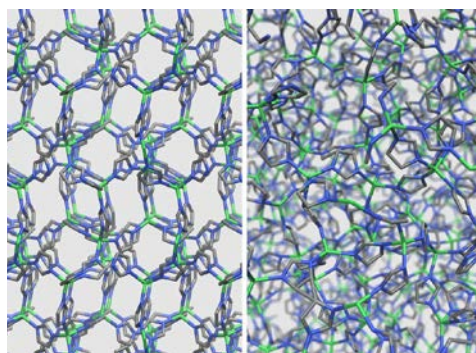
PHYSICOCHIMIE

UN LIQUIDE POREUX

Les réseaux métallo-organiques ou MOF (*metal-organic framework*) sont des matériaux poreux : leur structure contient de nombreux trous ou pores de taille nanométrique. Leurs applications sont diverses : adsorption ou séparation de gaz, catalyse, transport ionique, etc. Cependant, leur caractère cristallin restreint les possibilités d'utilisation. En 2015, des chercheurs ont découvert que certains MOF pouvaient être transformés en phase liquide ou amorphe comme du verre. Pour préciser les propriétés des MOF dans ces phases, François-Xavier Coudert, chercheur du CNRS à Chimie ParisTech, et ses collègues ont étudié l'un d'eux, le ZIF-4.

Cette molécule est constituée d'un ion de zinc associé à quatre ligands d'imidazolate. Elle a une forme tétraédrique avec une cavité au milieu, où des molécules de gaz peuvent s'insérer. Les chercheurs ont étudié le point de fusion – le ZIF-4 fond à une température de 865 kelvins (592 °C) –, la phase liquide et la phase amorphe (obtenue en laissant refroidir à température ambiante un échantillon liquide).

Grâce à la diffraction de neutrons et de rayons X, ainsi qu'à des simulations numériques, l'équipe a montré que jusqu'à 1200 kelvins, l'ion zinc reste préférentiellement lié à



Dans sa phase solide et cristalline, le ZIF-4 a une structure poreuse (à gauche). En phase liquide, la porosité est conservée, malgré la structure désordonnée (à droite).

quatre ligands, mais des échanges de ligands entre ions métalliques voisins s'effectuent rapidement, ce qui confère un caractère liquide au matériau. Et même à plus haute température, la présence de pores est préservée en phase liquide : le volume poreux moyen à 300 ou à 2000 kelvins est quasi équivalent. On peut donc parler de liquide poreux.

François-Xavier Coudert résume ainsi les perspectives de ces MOF : « L'avantage du liquide réside dans un aspect pratique pour les applications, puisque de nombreux procédés de séparation en phase liquide existent et peuvent être facilement adaptés. » ■

S. B.

R. Gaillac et al., *Nature Materials*, en ligne, 9 octobre 2017

INFORMATIQUE

GO : L'IA QUI APPREND SEULE

En 2016, l'intelligence artificielle AlphaGo battait le Sud-Coréen Lee Sedol, un champion mondial au jeu de go. Ce résultat a mis en lumière la puissance de l'apprentissage dit profond sur des réseaux de neurones artificiels. Pour atteindre ce niveau, l'entraînement d'AlphaGo s'est déroulé en deux temps. Le programme a d'abord analysé de nombreuses parties jouées par des humains, puis a joué contre lui-même – une phase dite d'apprentissage par renforcement. AlphaGo Zero, le nouveau logiciel développé par l'entreprise DeepMind, apprend à jouer à ce jeu sans utiliser de données humaines.

La stratégie adoptée repose uniquement sur l'apprentissage par renforcement. Connaissant *a priori* seulement les règles, le programme joue contre lui-même et utilise la configuration du plateau de jeu comme donnée pour calculer les



Le programme AlphaGo Zero apprend tout seul à jouer au jeu de go et domine son prédécesseur AlphaGo.

probabilités de gagner. En accumulant des essais et des erreurs, le programme met à jour son réseau de neurones et améliore ses chances de victoire. AlphaGo Zero apprend à jouer en trois jours, contre plusieurs mois pour AlphaGo. Et l'efficacité est sans appel. En opposant les deux programmes, AlphaGo Zero a dominé son prédécesseur par 100 victoires contre 0 ! ■

S. B.

D. Silver et al., *Nature*, vol. 550, pp. 354-359, 2017

EN BREF

LE MIEL CONTAMINÉ PAR LES PESTICIDES

Environ 75 % des miels du monde sont contaminés par les néonicotinoïdes. Edward Mitchell, de l'université de Neuchâtel, et ses collègues ont analysé des échantillons de miel provenant de 198 sites couvrant tous les continents du globe. L'équipe a recherché cinq molécules de cette famille de pesticides. Résultat : 30 % des miels en contenaient une et 45 % en contenaient au moins deux. Les chercheurs mettent ainsi en évidence l'exposition globale des abeilles à ces produits.

UN ASTÉROÏDE BINAIRE EXOTIQUE

En 2011, l'astéroïde numéroté 300163 a montré des signes d'activité cométaire avec la formation d'un halo gazeux et d'une queue, ce qui lui a valu un nom de comète, 288P. Grâce à des observations récentes avec le télescope spatial *Hubble*, Jessica Agarwal, de l'institut Max-Planck à Göttingen, et ses collègues ont montré qu'il s'agissait d'un astéroïde binaire : deux corps de masses comparables en orbite l'un autour de l'autre à une distance d'environ 100 kilomètres. Un cas unique.

TRACES DE PAS MILLÉNAIRES EN NORMANDIE

Dans une carrière située à la confluence de la Seine et de l'Eure, l'arrivée de sédiments apportés par une crue a figé des empreintes de pas animales et humaines. La présence de ces fugaces traces de vie est liée à la proximité d'un habitat de l'âge du Bronze implanté autour de 2100-1900 avant notre ère. Les traces, mises au jour par Cyril Marcigny et son équipe de l'Inrap, témoignent du passage rapide de cochons ou de sangliers, de bovidés, et de celui de personnes accompagnées de chiens. Des éleveurs sans doute.

DE LA NEIGE SUBLIMÉE

L'équipe d'Alexis Berne, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, vient de mettre en évidence un phénomène qui pourrait avoir de grandes conséquences sur le bilan de masse de la calotte glaciaire en Antarctique. Puisque les forts vents qui dévalent des hauts plateaux du continent transportent un air très sec, ils entraînent la sublimation (évaporation sans passage par l'état liquide) des flocons de neige aux basses altitudes, ce qui diminue sensiblement la quantité de précipitations neigeuses au sol. Comparé à son maximum en altitude, le cumul de précipitations au sol sur l'ensemble du continent est ainsi diminué de 17%. Le phénomène est accru au niveau des côtes, où la baisse atteint 35%. Pour obtenir ce résultat, l'équipe a utilisé différents instruments météorologiques de la base Dumont-d'Urville et des modèles numériques. ■

D. T.

J. Grazioli et al., *PNAS*, vol. 114(41), pp. 10858-10863, 2017

ASTROPHYSIQUE

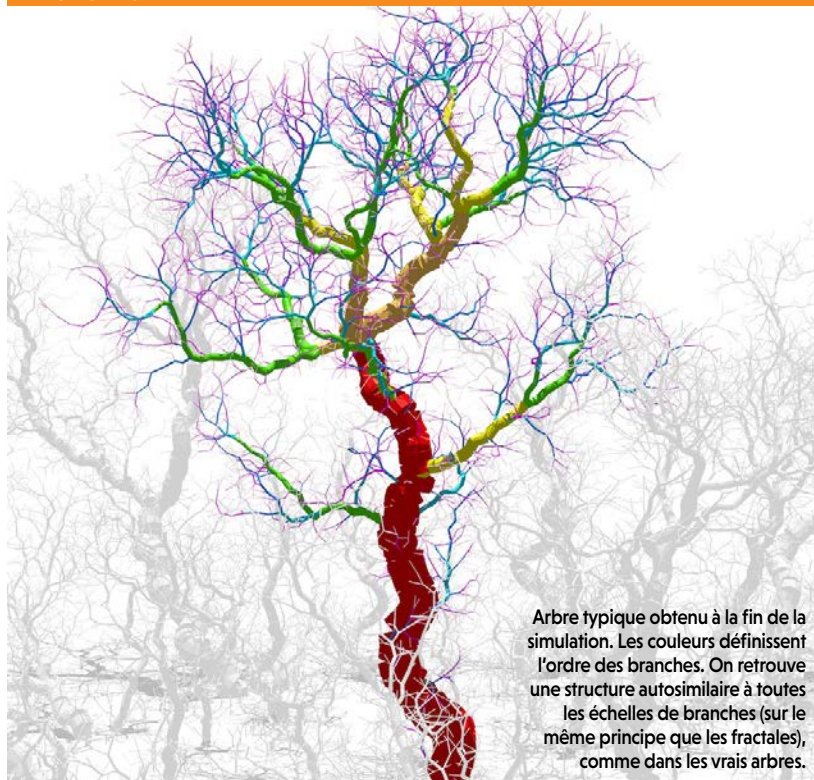
POUSSIÈRES DE NANODIAMANTS

L'univers est la source de nombreux rayonnements dont certains sont encore mal compris. C'est le cas de l'ERE (*Extended Red Emission*) observé il y a environ quarante ans. Si on sait que ce phénomène est lié aux poussières interstellaires, la nature précise de sa source n'était toujours pas clairement identifiée. Pour Hsiao-Chi Lu, du Centre taiwanais de recherche sur le rayonnement synchrotron, et ses collègues, il pourrait être dû à des nanodiamants. Les chercheurs ont en effet montré que des nanodiamants présentant un type de défauts cristallins (un atome d'azote remplaçant un atome de carbone) soumis à du rayonnement ultraviolet produit par un synchrotron réémettent dans le rouge avec des caractéristiques semblables à celles d'ERE. Mais pour confirmer cette hypothèse, il faudra détecter la trace de ces diamants dans les poussières interstellaires qui émettent l'ERE, car d'autres molécules pourraient aussi expliquer ce rayonnement (hydrocarbures aliphatiques, fullerènes...). ■

MARTIN TIANO

Hsiao-Chi Lu et al., *Angewandte Chemie Int. Ed.*, en ligne, 12 octobre 2017

ÉVOLUTION



Arbre typique obtenu à la fin de la simulation. Les couleurs définissent l'ordre des branches. On retrouve une structure autosimilaire à toutes les échelles de branches (sur le même principe que les fractales), comme dans les vrais arbres.

200 000 ANS DANS LA VIE D'UNE FORÊT VIRTUELLE

La géométrie des arbres suit certaines relations mathématiques simples, nommées lois d'échelle allométriques; par exemple, une formule relie la hauteur de l'arbre à son diamètre. Les explications avancées sont d'origine mécanique et hydraulique: les arbres se conforment à cette loi géométrique afin de ne pas s'effondrer sous leur propre poids et afin d'apporter la sève jusqu'aux feuilles des extrémités des branches.

Pour savoir quels facteurs ont influé sur l'évolution de la structure des arbres, Christophe Eloy, de Centrale Marseille, et ses collègues ont développé un modèle numérique, MechaTree, qui simule la croissance d'une forêt sur plusieurs générations. Chaque arbre transmet ses caractéristiques à sa descendance, mais avec des valeurs pouvant varier de façon aléatoire. Les chercheurs rendent compte ainsi de l'apparition de mutations. Le programme calcule l'influence de divers facteurs extérieurs, l'exposition au soleil et la résistance des branches au vent. Des effets sur la croissance récemment mis en évidence par les biologistes sont intégrés, telle la capacité des arbres de percevoir les déformations liées au vent et la lumière qui arrive sur leurs bourgeons, et d'y réagir en modulant leur croissance.

Quels ont été les résultats après 200 000 ans? Les arbres les mieux adaptés finissent par dominer la forêt, et certains ressemblent à un vrai pin. Les chercheurs ont retrouvé toutes les lois d'échelle connues. Ils ont pu identifier le rôle de chaque facteur dans ce résultat. Ainsi, la compétition pour l'accès à la lumière et la transparence du feuillage déterminent la dimension fractale de l'arbre, tandis que la réaction au vent contrôle le diamètre des branches. ■

S. B.

C. Eloy et al., *Nature Communications*, vol. 8, article 1014, 2017

GÉNÉTIQUE

LA VÉRITABLE HISTOIRE DES COULEURS DE LA PEAU

Des mutations génétiques impliquées dans la pigmentation de la peau sont antérieures à *Homo sapiens*, révèle une étude génomique de grande ampleur sur des populations africaines.

Si la diversité des couleurs de la peau est un trait marquant de l'homme moderne, ses causes génétiques sont encore mal connues. Or une vaste étude génomique sur des populations africaines a identifié plusieurs variants de gènes impliqués dans la pigmentation de la peau. Ils révèlent que l'histoire de la couleur de la peau est bien plus ancienne qu'on ne le pensait.

Les paléoanthropologues s'accordent à dire que nos ancêtres australopithèques étaient probablement clairs de peau sous les poils. Avant cette étude, ils privilégiaient le scénario suivant : il y a plus de 2 millions d'années, nos ancêtres avaient perdu la plupart de leurs poils ; leur peau aurait alors évolué rapidement en s'assombrissant, ce qui les protégeait des effets néfastes des rayons ultraviolets ; puis, quand les humains ont migré hors d'Afrique vers des latitudes plus élevées, moins ensoleillées, leur peau aurait évolué vers une couleur plus claire. La nouvelle étude, réalisée par une équipe internationale conduite par Sarah Tishkoff, à l'université de Pennsylvanie, révèle un scénario plus compliqué.

Ces chercheurs ont séquencé les génomes de 2 092 Africains d'origines variées, vivant en Éthiopie, Tanzanie et au Botswana, et les ont comparés à des génomes de populations ouest-africaines, eurasiennes et australo-mélanésiennes. Ces travaux indiquent qu'une grande partie des mutations associées aux couleurs de la peau sont apparues avant même l'émergence d'*Homo sapiens* (il y a quelque 300 000 ans). Notamment, ils suggèrent que des variants de deux des gènes connus pour être associés à des yeux, une peau et des cheveux clairs chez les Européens seraient en fait apparus il y a 1 million d'années... en Afrique. Ils se seraient ensuite répandus en Europe et en Asie.

Les biologistes ont aussi confirmé des hypothèses déjà proposées, comme les migrations « back to Africa ». En effet, un variant de « dépigmentation » du gène *SLC24A5*, lié à une peau pâle et connu pour s'être répandu en Europe, s'est révélé fréquent en Afrique de l'Est, même chez des individus à la peau sombre (signe que ce variant n'agit pas seul pour donner une peau claire). Ce variant serait apparu en Eurasie



En Afrique, la diversité des couleurs de peau est un indice d'une histoire génétique riche et complexe.

assez récemment, il y a environ 29 000 ans, s'y serait totalement répandu il y a 6 000 ans, et aurait migré en retour depuis le Moyen-Orient vers l'Afrique de l'Est.

En fait, des scénarios complexes sont à envisager pour l'histoire de chaque mutation. Celles du gène *MFSD12* sont intéressantes. Deux mutations identifiées sur ce gène en diminuent l'expression et sont associées à une couleur foncée de peau, ce qui a été confirmé par des modèles de souris et de poisson-zèbre. Or ces mutations se retrouvent chez des populations mélanésiennes et aborigènes australiennes, appuyant l'hypothèse d'une sortie de l'Afrique il y a 80 000 ans par la corne africaine.

« Tout cela reste à valider par des études encore plus larges, en incluant des populations hors d'Afrique, mais ce travail énorme éclaire l'histoire évolutive des traits que l'on observe aujourd'hui », commente Paul Verdu, chercheur du CNRS au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Une chose est sûre, s'il était encore besoin de la démontrer : la diversité des humains est telle, et leur histoire évolutive est d'une telle complexité, qu'il ne saurait exister de race. ■

NOËLLE GUILLON

N. G. Crawford et al., *Science*, en ligne, 12 octobre 2017

LE SENS DU TOUCHER DE LA BACTÉRIE

A lors que les bactéries ne présentent pas d'organes sensoriels, deux équipes, celle d'Urs Jenal, de l'université de Bâle, et celle d'Yves Brun, de l'université de l'Indiana, ont mis en évidence deux mécanismes permettant à la bactérie *Caulobacter crescentus* de savoir si elle est en contact avec une surface afin de s'y fixer. Des signaux sont déclenchés lorsque les pili, des cils courts à la surface de la bactérie, se rétractent au contact de la surface, ou que le flagelle, qui d'habitude tourne pour propulser la bactérie, se bloque contre la surface.

ASTÉROÏDE EN VISITE

S'il a une trajectoire hyperbolique, un astéroïde quitte *a priori* le Système solaire à jamais. Un tel corps a souvent été dévié de son chemin initial sous l'influence d'une planète. Mais ce scénario n'explique pas le cas de A/2017 U1, un corps repéré en octobre par le télescope Pan-STARRS 1. Cet astéroïde pourrait bien être le premier corps interstellaire de passage dans le Système solaire formellement identifié. Après un tour autour du Soleil, il s'en éloigne à grande vitesse.

UN ANTIDOULEUR BACTÉRIEN

La souche *Escherichia coli* Nissle 1917 du colibacille est utilisée comme antalgique dans divers troubles intestinaux, dont le syndrome de l'intestin irritable, maladie chronique qui touche environ 11 % de la population mondiale. Toutefois, son mécanisme d'action était mal connu. Teresa Pérez-Berezo, de l'université Paul-Sabatier, à Toulouse, et ses collègues ont montré que cette bactérie libère un neurotransmetteur qui, en se liant à un lipide, passe la barrière intestinale et diminue l'activité de neurones sensitifs du ventre. Une nouvelle piste d'antidouleurs ?

CRISE CHEZ LE POISSON-CLOWN

Les coraux ne sont pas les seuls à blanchir sous le coup du réchauffement climatique. Les anémones de mer subissent le même sort. Ricardo Beldade, du Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement, à Perpignan et à Moorea, et ses collègues ont montré que ce phénomène conduit à une baisse de la fécondité des poissons-clowns.

Chaque anémone de mer vit en symbiose avec une algue microscopique – l'une ne peut pas vivre sans l'autre. Cette algue donne notamment sa couleur à l'animal. Cependant, lors d'une hausse trop importante de la température de l'eau, comme lors de l'événement El Niño qui a provoqué en 2016 un réchauffement de l'océan Pacifique, l'algue peut mourir, entraînant ainsi le blanchiment de son anémone hôte.

Pendant 14 mois, les chercheurs ont étudié 13 anémones sur les récifs de l'île de Moorea, en Polynésie française, et ont constaté le blanchiment de la moitié d'entre elles, suite à El Niño. L'équipe s'est ensuite intéressée au sort du couple de poissons-clowns hébergé par chacune des anémones blanchies. Elle a constaté une baisse de 73 % du nombre d'œufs viables par rapport aux poissons-clowns installés dans une anémone saine.



L'équipe a alors effectué des prélèvements sanguins, qui ont montré que les résidents des anémones blanchies présentaient un taux élevé d'hormones liées au stress et un faible taux d'hormones relatives à la reproduction, prouvant ainsi les conséquences directes du blanchiment sur les semblables du petit Nemo.

Trois ou quatre mois après l'épisode de réchauffement dû à El Niño, l'état de santé des anémones et des poissons s'est amélioré. Le phénomène semble donc réversible, mais il est difficile de savoir ce qu'il en serait pour un épisode de réchauffement plus intense ou de plus longue durée. ■

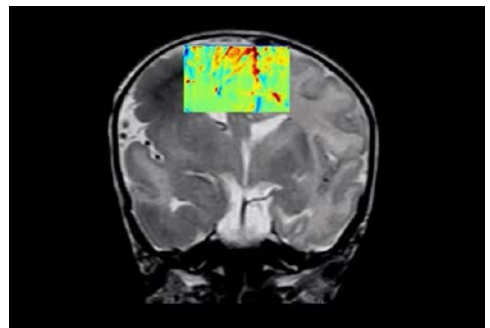
D. T.

R. Beldade et al., *Nature Communications*, vol. 8, article 716, 2017

ÉCHOGRAPHIE CÉRÉBRALE

Pour visualiser l'activité vasculaire du cerveau d'un nouveau-né, l'IRM ou la tomographie par émission de positrons posent divers problèmes, notamment celui du déplacement de l'enfant auprès des machines. Depuis 2009, une technique d'échographie ultrarapide par ultrasons était à l'étude sous la direction du physicien Mickael Tanter, de l'institut Langevin, à Paris. Après des années d'essais sur l'animal, ces chercheurs, avec des cliniciens du service de réanimation néonatale de l'hôpital Robert Debré, ont prouvé que cette technique est utilisable chez les bébés avec un équipement léger pouvant être apporté auprès de leur lit.

L'équipe a observé chez des nouveau-nés en bonne santé les activités vasculaires liées aux différentes phases du sommeil. Et les chercheurs ont étudié la situation chez deux bébés atteints



En diffusant par la fontanelle du nouveau-né, les ultrasons visualisent l'activité vasculaire du cerveau du bébé.

de convulsions liées à une malformation du cortex. Outre son intérêt pour le diagnostic, les chercheurs espèrent utiliser cette technique de neuro-imagerie fonctionnelle pour étudier la croissance du cerveau ou décrypter les mécanismes de déclenchement des épilepsies. ■

N. G.

C. Demene et al., *Science Translational Medicine*, vol. 9, article eaah6756, 2017

PALÉOGÉNÉTIQUE

L'ADN D'UNE DEUXIÈME FEMME DE NÉANDERTAL SÉQUENCÉ

Une vaste équipe dirigée par Svante Pääbo, de l'institut Max-Planck pour l'anthropologie évolutive, à Leipzig, vient de séquencer un second génome néandertalien complet. Cette avancée est tout sauf anodine, tant les données génétiques sur l'humain fossile *Homo neanderthalensis* sont encore limitées.

Précisons à quel point: on a obtenu pour la première fois un génome néandertalien entre 2010 et 2014. Mais comment? En séquençant avec une fiabilité très médiocre le génome d'une chimère génétique, un ADN obtenu en raboutant les séquences provenant des fossiles de trois individus de la grotte de Vindija. Ce n'est qu'en 2014 que le véritable génome de l'homme de Néandertal – en réalité celui d'une femme passée par la grotte de Denisova, dans l'Altaï sibérien – a été séquencé. Ulérieurement, l'ADN d'un enfant de la grotte de Mezmaiskaya, dans le Caucase, a aussi été lu, mais avec une très mauvaise fiabilité.

Le nouveau génome néandertalien provient d'un fossile de la grotte de Vindija, en Croatie. Comme l'ADN complet d'un ours des cavernes qui y est mort avait pu être séquencé, l'équipe de Svante Pääbo s'attendait à ce que les nombreux fragments osseux de cette cavité, où des

Néandertaliens ont vécu jusqu'à il y a 44 000 ans, rendent possible le séquençage d'un génome humain complet. C'est dans le fragment 33.19, appartenant à une femme, qu'ils ont trouvé le plus d'ADN nucléaire. Toutefois, ils ont dû en discriminer l'ADN de celui d'un mâle néandertalien qui l'avait légèrement contaminé et tenir compte, à l'aide d'un algorithme bio-informatique, des substitutions de nucléotides dues aux effets du temps.

Que dit le nouveau génome séquencé? Tout d'abord, il précise avec un haut degré de fiabilité la proportion néandertalienne du génome des Eurasiens modernes: toutes les populations non africaines, hors celle d'Océanie, portent entre 1,8 et 2,6% d'ADN néandertalien. Il confirme ensuite ce qui avait déjà été constaté dans l'ADN de la femme de Denisova: les gènes néandertaliens ont joué un rôle positif dans l'adaptation de nos ancêtres au froid eurasiatique, mais favorise aujourd'hui plusieurs maladies liées aux niveaux sanguins du «mauvais» cholestérol (LDL), de la vitamine D ainsi que l'obésité, l'arthrite rhumatoïde, la schizophrénie et certaines maladies de la peau. ■

FRANÇOIS SAVATIER

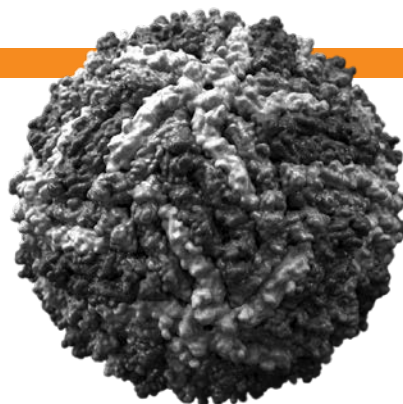
K. Prüfer et al., *Science*, en ligne, 5 octobre 2017

VIROLOGIE

CE QUI A RENDU ZIKA AGRESSIF

Depuis 2013, les épidémies du virus Zika sont accompagnées de symptômes neurologiques graves. Or ce virus découvert il y a soixante-dix ans était jusque-là considéré comme inoffensif. D'après Ling Yuan, de l'Académie chinoise des sciences, et ses collaborateurs, une substitution d'un unique acide aminé dans l'une des dix protéines du virus a augmenté drastiquement sa virulence vis-à-vis des cellules nerveuses, et ainsi rendu le virus dangereux.

L'équipe a comparé chez la souris la virulence de deux souches du virus isolées en 2015 et en 2016 avec leur ancêtre commun, isolé au Vietnam en 2010. Ce dernier était beaucoup moins agressif, voire mortel, que les souches récentes. En comparant le génome des trois virus, les chercheurs ont identifié sept mutations importantes.



Reconstruction en 3D du virus Zika.

Par élimination, ils ont montré que la substitution d'un seul acide aminé, notée S139N, a suffi pour obtenir de la souche de 2010 une agressivité nettement accrue. Ils ont aussi inversé cette mutation à partir d'un virus de 2016, c'est-à-dire qu'ils ont rétabli pour cette seule substitution l'acide aminé ancestral: la virulence de la souche ainsi créée a diminué. ■

M. T.

L. Yuan et al., *Science*, en ligne, 28 septembre 2017

EN BREF

UNE CAVITÉ DANS LA PYRAMIDE DE KHÉOPS

Une cavité de 30 mètres de long vient d'être découverte dans la pyramide de Khéops grâce aux observations de la mission ScanPyramids, un projet qui utilise des techniques non invasives. Leurs détecteurs captent des muons, des particules produites par les rayons cosmiques, qui traversent en partie la roche. Les images tomographiques obtenues montrent que cette structure est similaire à celle de la grande galerie. Sa fonction reste inconnue à ce stade.

LA FOISSONNANTE VIE DES CANIVEAUX PARISIENS

Les eaux qui servent à nettoyer les rues parisiennes proviennent de la Seine. Conséquence: des microalgues, bactéries et autres microorganismes prolifèrent dans les caniveaux. Pascal Jean Lopez, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et ses collègues ont constaté avec surprise la richesse de ce microbiote: plus de 6 900 espèces potentielles d'eucaryotes, dont des diatomées et des champignons. Reste maintenant à comprendre le fonctionnement de cet écosystème particulier.

CONTRER LES TRYPANOSOMES

L'équipe de Yaser Hashem, de l'université de Strasbourg, a peut-être découvert une piste pour lutter contre les parasites de la famille des trypanosomes, responsables notamment de la maladie de Chagas et de la maladie du sommeil. Les humains et ces parasites sont des eucaryotes et les points communs entre leurs machineries cellulaires font que les traitements sont souvent toxiques pour le patient. Mais, dans les ribosomes des parasites, des organites impliqués dans la synthèse des protéines, les chercheurs ont identifié une protéine spécifique et indispensable à leur survie.

PISTE CONTRE LA DÉPRESSION

L'usage médical des drogues hallucinogènes a montré des résultats positifs contre la dépression. Mais l'origine de ces bienfaits restait mal comprise. L'équipe de Robin Carhart-Harris, de l'Imperial College de Londres, commence à combler cette lacune.

L'étude porte sur une vingtaine de personnes, dont la dépression résistait à tous les traitements. Les patients ont pris deux doses de l'hallucinogène psilocybine à une semaine d'intervalle. Les symptômes de la dépression ont diminué dès le lendemain du traitement. Grâce à l'IRM fonctionnelle, les chercheurs ont observé une diminution de l'activité dans l'amygdale des patients, un centre cérébral des émotions (notamment de la peur et de l'anxiété). Cinq semaines après, l'amélioration avait persisté chez la moitié des personnes traitées. ■

GUILLAUME JACQUEMONT

R. Carhart-Harris et al., *Scientific Reports*, vol. 7, article 13187, 2017

GÉNÉTIQUE

RÉPARATION DE MUTATIONS

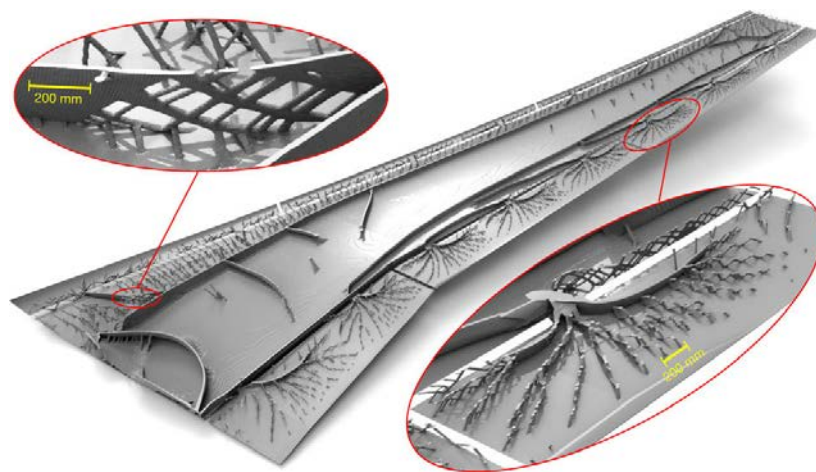
Dans la molécule d'ADN, la désamination spontanée de la cytosine provoque une transition de la paire de bases cytosine (C)-guanine (G) en thymine (T)-adénine (A). Cette réaction est responsable de la moitié des pathologies humaines dues à la substitution d'une seule base. Des chercheurs de l'institut Broad du MIT et de l'université Harvard ont développé deux techniques pour réparer ces mutations.

En s'inspirant du système CRISPR-Cas9, qui permet de modifier avec précision l'ADN, Feng Zhang et son équipe ont conçu CRISPR-Cas13, qui modifie les bases de l'ARN sans toucher au génome. Le système change une base A en inosine (interprétée comme une base G lors de la synthèse des protéines). Nicole Gaudelli et ses collègues ont réalisé la même substitution directement sur l'ADN au moyen d'une enzyme fusionnée à une version de CRISPR-Cas9 qui repère la base à changer, mais ne coupe pas l'ADN. ■

S. B.

D. B. T. Cox et al., *Science*, en ligne, 25 octobre 2017 ; N. M. Gaudelli et al., *Nature*, en ligne, 25 octobre 2017

DE L'AILE D'AVION OPTIMISÉE AU BEC D'OISEAU



Pour optimiser une aile de Boeing 777, un algorithme a créé une multitude de microstructures qui rappellent celles que l'on trouve à l'intérieur du bec et des os d'oiseaux.

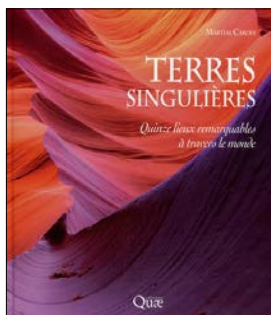
Les algorithmes d'optimisation sont utilisés quotidiennement dans l'industrie automobile et aérospatiale pour concevoir des pièces robustes, mais légères. On estime que cette approche a permis de baisser de 20 à 40 % le poids de certains éléments structurels dans les voitures modernes. Mais étendre l'utilisation de ces algorithmes à des objets de grande taille est difficile, car cette approche requiert une grande résolution spatiale et donc une puissance de calcul gigantesque. Toutefois, Ole Sigmund, de l'université technique du Danemark, et ses collègues ont conçu un programme qui permet d'appliquer ces techniques d'optimisation à de grandes structures, telles qu'une aile d'avion de 27 mètres.

L'équipe a utilisé les données publiques de la Nasa qui caractérisent la géométrie extérieure de l'aile et les forces qui s'appliquent sur elle en vol. À partir de ces données, l'algorithme devait optimiser la rigidité en répartissant de la matière à l'intérieur de l'aile, tout en minimisant son poids. Une résolution spatiale optimale implique un maillage très précis, qui conduit à découper l'aile en 1 milliard de voxels (l'équivalent 3D des pixels), contre quelques millions dans les programmes précédents. L'algorithme doit évaluer simultanément tous les voxels, ce qui ne peut être réalisé qu'à l'aide d'un supercalculateur, en l'occurrence le supercalculateur Curie du CEA, qui dispose de 8000 processeurs.

Les chercheurs ont constaté qu'après une centaine d'itérations, l'algorithme d'optimisation a formé des microstructures rappelant celles de l'intérieur des os d'oiseau et notamment leur bec, qui allient robustesse et légèreté. Aux échelles de temps près, le processus d'optimisation numérique et les processus de croissance des os soumis à la sélection naturelle sont assez similaires. Les chercheurs danois ont montré que le résultat était 2 à 5 % plus léger qu'une aile classique. Il s'ensuivrait une économie de carburant de 40 à 200 tonnes par avion et par an. Mais la réalisation industrielle de ce type d'aile n'est pas envisageable avec les techniques actuelles : il faudra attendre des imprimantes 3D à métal fonctionnant à grande échelle. ■

D. T.

N. Aage et al., *Nature*, vol. 550, pp. 84-86, 2017



GÉOLOGIE

TERRES SINGULIÈRES

Martial Caroff

Quæ, 2017

158 pages, 25 euros

Depuis que les Romantiques ont changé notre vision de la nature sauvage, falaises, rochers, déserts et montagnes sont appréciés pour leur grandeur, leur étrangeté et leur beauté. Mais au-delà de l'admiration esthétique, comprendre ces paysages et leur histoire souvent longue et complexe ne peut qu'ajouter à la satisfaction qu'on ressent à les contempler.

Dans ce livre, Martial Caroff utilise son savoir de géologue pour décrypter quinze sites naturels remarquables à travers le monde. Certains, comme le parc de Yellowstone et ses geysers, dans le Wyoming, sont connus dans le monde entier; d'autres, même proches de nous, ne sont guère connus du grand public, ainsi le chaos granitique des Pierres Jaumâtres, dans la Creuse. Mais tous recèlent des curiosités géologiques remarquables de nature à attirer les curieux, même si certains, comme les vallées de Mc Murdo, dans l'Antarctique, ne sont pas aisément accessibles, pour ne rien dire des Montes Apenninus, qui ne sont pas les Apennins d'Italie, mais ceux de la Lune!

L'auteur a choisi ces lieux avec un évident souci d'éclectisme. Certains sont le résultat du simple jeu de la tectonique et de l'érosion, d'autres doivent leur origine à des phénomènes plus rares, comme la caldera de l'île de Santorin, formée lors d'une énorme éruption volcanique entre 1600 et 1500 avant notre ère, ou la structure de Vredefort, en Afrique du Sud, témoin d'un gigantesque impact météoritique survenu il y a quelque 2 milliards d'années. La qualité de l'illustration s'ajoute à celle du texte, d'une grande rigueur scientifique mais agréable à lire, pour faire de ce beau livre une réussite.

ERIC BUFFETAUT / CNRS, ENS



ENTOMOLOGIE

MA VIE DE LIBELLULE

Daniel Magnin et Alain Cugno

Salamandre, 2017

144 pages, 29 euros

Pourquoi encore un livre sur les libellules? Parce que l'aspect bizarre, voire extravagant mais toujours très beau de ces animaux nous fascine. Ce livre original veut présenter l'histoire naturelle des Odonates du point de vue... des libellules elles-mêmes. Il y avait là un risque d'anthropocentrisme lourd, superbement évité par une approche poétique du texte, qui le rend léger tout en donnant l'essentiel de ce que vous avez toujours voulu savoir sur la vie privée des libellules...

Les auteurs présentent des photographies de libellules qui sont autant d'œuvres d'art, attestant de l'infinie patience dont ont fait preuve les auteurs pour capter des instants remarquables de la vie d'insectes bien connus pour leur méfiance et leur rapidité de vol. À ce propos, nous, humains, sommes encore très loin d'imiter leur vol, fait de surplace, de reculs et de brusques changements de direction. Ces insectes sont aussi très anciens, même si leurs lointains ancêtres du Carbonifère (325 millions d'années) n'avaient pas les mêmes «compétences», puisque les structures fondamentales de leurs ailes n'ont été vraiment acquises qu'au Permien.

Malheureusement, même si les libellules sont des prédateurs redoutables, agressifs à tous les stades de leur vie, elles sont aussi très menacées par le déraisonnable *Homo sapiens*, qui détruit ou pollue toute l'eau douce de la planète. À ce propos, j'ai été surpris de constater que les auteurs insistent – à juste titre – sur l'idée que les humains devraient observer les libellules, mais semblent aussi trouver le mouton «à sa place quand il écrase» et détruit toutes les larves de libellules d'une mare. Pour «naturel» qu'il nous semble, le mouton est en réalité une redoutable tondeuse artificielle que nous avons introduite en nombre dans la nature. Au-delà de cette réaction de chercheur en entomologie, ce livre somptueux va vous faire aimer les libellules, et c'est bien!

ANDRÉ NEL / MNHN, PARIS

