

phénotype facile à contrôler – la couleur des yeux –, tout en s'affranchissant des biais possibles. Pour ce faire, ils ont décidé d'agir sur des protéines d'une famille nommée polycomb, qui présentaient un double intérêt. D'une part, elles sont très impliquées dans la méthylation des histones. D'autre part, recrutées sur les chromosomes par des séquences spécifiques d'ADN, elles répriment les fonctions de divers gènes – et cette activité dépend de l'organisation spatiale des chromosomes: recrutées sur l'un d'eux, elles peuvent réguler un gène situé sur un autre si ce dernier est proche spatialement du premier.

La lignée d'origine avait les yeux jaunes, résultat d'une faible pigmentation rouge. Les biologistes ont modifié la structure 3D des chromosomes pour moduler la capacité des protéines polycomb, recrutées sur un chromosome, à réprimer un gène impliqué dans la pigmentation rouge des yeux et situé sur un autre chromosome. Puis, dans la descendance des mouches, ils ont retenu et séparé celles dont les yeux étaient les plus et les moins pigmentés. Ensuite, par croisements successifs au sein de chaque groupe, ils ont conforté la couleur des yeux. Ils ont ainsi obtenu une lignée aux yeux rouges et une aux yeux blancs, stables sur plus de cinquante générations.

Pour Filippo Ciabrelli et ses collègues, il ne fait aucun doute que ce résultat est le fruit d'un mécanisme d'hérédité épigénétique lié à la fois à l'organisation spatiale de l'ADN et à l'action des protéines polycomb. D'abord, les génomes des deux lignées sont identiques (aux variations habituelles près). Ensuite, les histones de la lignée blanche sont fortement méthylées, signe de l'action des protéines polycomb, contrairement à celles de la lignée rouge. De plus, le phénomène est réversible: en croisant les deux lignées, on retrouve des yeux jaunes, toujours sans changement du génome. Enfin, une autre expérience a montré qu'il dépend de l'environnement: quand on augmente la température ambiante de la lignée rouge pendant deux générations, celle-ci perd ses pigments, et ce de façon stable sur plusieurs générations, même après un retour à une température normale. Un tel mécanisme existerait-il aussi chez les mammifères? Ces derniers portent en tout cas eux aussi des protéines polycomb... ■

MARIE-NEIGE CORDONNIER

F. Ciabrelli et al., *Nature Genetics*, en ligne le 24 avril 2017

Un pic de performance cognitive à 25 ans

Avec plusieurs collègues, le mathématicien et psychologue Nicolas Gauvrit a développé de nouveaux outils pour évaluer la complexité d'une suite de chiffres. Ceux-ci ont des applications en neurosciences, notamment pour évaluer certaines fonctions cognitives des patients. Le chercheur nous explique ces travaux et leurs résultats.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

NICOLAS GAUVRIT
chercheur au Labores
et à l'École pratique
des hautes études,
à Paris

Comment la notion de complexité joue-t-elle un rôle en neurosciences ?

N. G. : Prenons les deux suites de chiffres « 12121212 » et « 12212111 ». La seconde est dite plus complexe, car elle est plus difficile à décrire que la première, qui est juste la répétition du motif « 12 ». Cette notion de complexité, dite algorithmique, d'une suite de chiffres a été formalisée au ^{xx} siècle par le mathématicien russe Andreï Kolmogorov.

Si l'on demande à quelqu'un de produire une suite aléatoire de chiffres, on se rend compte qu'en général, cette personne cherchera à produire une suite complexe. Or, depuis longtemps, les psychologues pensent que la complexité permet de mesurer d'une certaine façon des fonctions cognitives de haut niveau, telles que l'attention, la mémoire à court terme ou encore l'inhibition (après un 1, on a tendance à vouloir mettre un 2, il faut inhiber ce réflexe pour créer de la complexité). La production de suites complexes s'appuie sur ces fonctions cognitives.

Quelles sont les applications possibles de cette idée ?

N. G. : Ces fonctions cognitives de haut niveau reposent beaucoup sur le lobe frontal. Ainsi, les neurologues peuvent demander au patient qui a subi un choc à la tête de produire une suite de chiffres la plus aléatoire possible, afin de détecter des traumatismes du lobe frontal. Si la région est endommagée, le patient aura du mal à créer de la complexité et la suite présentera de nombreuses répétitions.

Cependant, un des problèmes majeurs de la complexité algorithmique est qu'elle n'est pas calculable. On peut juste l'estimer approximativement. Cela rend délicat l'utilisation de cette méthode par les neurologues. En outre, pour avoir une assez bonne évaluation, la suite demandée

au patient doit être assez longue (une centaine de chiffres) pour que l'on puisse conclure quant à son caractère complexe.

Comment améliorer ces estimations ?

N. G. : Deux de mes collègues, Jean-Paul Delahaye (NDLR : chroniqueur à *Pour la Science*) et Hector Zenil, ont proposé une nouvelle façon d'estimer la complexité. Elle repose sur la probabilité algorithmique – la probabilité qu'un programme choisi au hasard produise une suite donnée. Ainsi, en générant un grand nombre de programmes aléatoires et les suites qu'ils produisent ou non, nous avons une estimation de cette probabilité et donc de la complexité. En effet, un programme généré aléatoirement a plus de chance de créer une suite simple comme « 0000... » plutôt qu'une suite complexe.

L'avantage de cette méthode est qu'il est possible de l'appliquer même à des suites de chiffres assez courtes, qui comprennent une dizaine de symboles seulement.

Dans le contexte des neurosciences, qu'est-ce que l'application de cet outil vous a permis de conclure ?

N. G. : Nous avons soumis plus de 3 400 personnes, âgées de 4 à 91 ans, à une série de tests qui leur demande de créer diverses suites aléatoires (pile ou face, lancers de dé, etc.). Nous observons que les performances cognitives, en termes de vitesse et de complexité, augmentent jusqu'à 25 ans et sont relativement stables jusqu'à 60 ans, puis déclinent.

La courbe d'évolution des performances en fonction de l'âge est comparable à celle que l'on obtient en évaluant d'autres fonctions cognitives de haut niveau, ce qui tend à confirmer que notre approche est correcte.

Nous avons aussi considéré d'autres facteurs que l'âge, notamment le sexe, la langue parlée par la personne, son profil (plutôt scientifique ou littéraire) et son niveau d'études. Mais seul l'âge semble être un facteur déterminant. ■

N. Gauvrit et al., *PLoS Computational Biology*, en ligne le 13 avril 2017

GÉNÉTIQUE

LES CHEVAUX SCYTHES, LOIN DE CEUX D'AUJOURD'HUI

Les génomes d'anciens chevaux montrent que la sélection des traits chevalins actuels avait commencé à l'époque des Scythes, puis s'est accélérée au cours des deux derniers millénaires.

Chevaux de trait, chevaux de selle, poneys... Il existe des centaines de races de chevaux domestiques. Quand et comment cette diversité est-elle apparue ? Réalisé par une vaste équipe internationale autour de Ludovic Orlando, de l'université de Copenhague, le séquençage de quatorze génomes d'anciens chevaux apporte plusieurs éléments de réponse surprenants.

Les chercheurs travaillent à restituer l'histoire évolutive des chevaux domestiques, animaux qui ont joué un très grand rôle dans l'histoire humaine (transport à longue distance, guerres, etc.). Amorcée il y a quelque 5500 ans en Asie centrale, la domestication d'*Equus ferus* a été à l'origine de nombreuses cultures nomades dans les steppes asiatiques. Ainsi, il y a plus de 3000 ans, un homme de la culture préscythe de Subeshi, dans le désert du Taklamakan, a été enterré avec un pantalon taillé pour la monte. Quelques siècles plus tard, au début de l'âge du Fer, les Scythes pratiquaient une culture équestre hautement développée et occupaient un territoire allant de la mer Noire au massif de l'Altaï, en Mongolie.

Ces repères chronologiques expliquent pourquoi les chercheurs ont choisi de séquencer les génomes de quinze étalons sacrifiés il y a entre 2350 et 2750 ans, à l'occasion de funérailles royales scythes. La biodiversité de ces chevaux s'est révélée plus importante que celle des chevaux actuels, qui n'ont pratiquement plus qu'un seul type de chromosome Y, comme s'ils descendaient tous d'un unique étalon.

À l'époque des Scythes, la sélection par l'homme était cependant déjà largement lancée. Ainsi, les chercheurs ont constaté que les gènes mutés favorables à la course, à une plus grande taille du corps, mais aussi à la lactation chez les juments avaient déjà commencé à s'accumuler dans le génome des chevaux scythes. Particulièrement intéressante est l'accumulation de mutations adaptatives dans une région du génome associée à la crête neurale, une population de cellules de l'embryon à l'origine de nombreux tissus de l'organisme. Cette constatation va dans le sens de la « théorie de la crête neurale », selon laquelle c'est une modification précoce du développement de cette population de cellules qui



Ces chevaux ont été sacrifiés par des Scythes vers 650 avant notre ère sur le site de Tuva, en Sibérie. Les chercheurs ont notamment séquençé les génomes de deux étalons appartenant à ce groupe.

aurait rendu possible la sélection artificielle des traits typiques de toutes les espèces domestiques : robes et tailles variées, oreilles tombantes (pour d'autres animaux que les chevaux)...

L'équipe de Ludovic Orlando a aussi établi que lors des sacrifices qui accompagnaient les inhumations royales, les Scythes aimaient sacrifier des chevaux de couleurs diverses : ils ont en effet pu établir la présence dans leur échantillon de deux chevaux noirs, d'un de couleur crème, de quatre chevaux bais et de six alezans. Une preuve de plus du fait que la domestication était enclenchée, puisque c'est elle qui a produit l'aspect très divers des chevaux d'aujourd'hui. Il semble que ce soit seulement au cours des deux derniers millénaires que la reproduction à partir d'un très petit nombre d'étalons s'est généralisée. C'est cela, et aussi une sélection incessante, qui a produit les centaines de types de chevaux souvent très athlétiques, arborant des dizaines de robes et de marques très variées, que nous connaissons. Malheureusement, cela a aussi multiplié les défauts d'organe, les cataractes et les nombreuses maladies congénitales auxquelles les éleveurs sont confrontés aujourd'hui. ■

FRANÇOIS SAVATIER

P. Librado et al., *Science*, vol. 356, pp. 442-445, 2017

EN BREF

LA GRANDE TACHE FROIDE DE JUPITER

La planète géante gazeuse est connue pour sa grande tache rouge. Elle présenterait une tache presque aussi grande (24 000 par 12 000 kilomètres) correspondant à une zone plus froide de 200 °C que l'atmosphère environnante. D'après Tom Stallard, de l'université de Leicester, elle résulterait des importants transferts de chaleur à partir des aurores polaires de la planète. Les astronomes pensent qu'elle est là depuis des milliers d'années.

LES FOURMIS AIDENT LEURS BLESSÉS

La fourmi africaine *Megaponera analis* est un prédateur de termites. Elle organise des raids lors desquels de nombreux insectes meurent ou sont blessés. Erik Frank, de l'université de Wurtzbourg, en Allemagne, et ses collègues ont observé que les fourmis blessées sont ramenées au nid par leurs congénères, un cas unique chez des invertébrés. Avec un modèle mathématique simple, les chercheurs ont montré qu'il y a un avantage à porter secours à ses blessés : cela confère à la colonie une taille plus grande.

AUX ORIGINES DE L'HOMME DE FLORÈS

Une équipe dirigée par Debbie Argue, de l'université nationale d'Australie, a étudié chez l'homme de Florès (*Homo floresiensis*) 133 traits du crâne, des mâchoires, des dents, des bras, des jambes, des épaules. Ce petit hominidé d'Indonésie serait plus proche d'*H. habilis* qu'il ne l'est d'*H. ergaster*, d'*H. erectus* et de toutes les formes humaines postérieures. Ses ancêtres seraient donc issus d'*H. habilis*, l'auteur des premiers outils de pierre taillée clairement humains, il y a quelque 1,75 million d'années. Une preuve de plus que des humains sortent d'Afrique depuis... qu'il y a des humains.

PHYSIQUE

L'IMPOSSIBLE ZÉRO KELVIN

Selon le troisième principe de la thermodynamique, il n'existe aucune procédure capable de refroidir un système à zéro kelvin (-273,15 °C) en un nombre fini d'étapes, soit en un temps fini. Mais, contrairement aux deux premiers principes, celui-ci n'est pas fondé sur une démonstration solide. Lluís Masanes et Jonathan Oppenheim, de l'University College de Londres, ont proposé une nouvelle preuve de ce principe qui a l'intérêt de se généraliser à des systèmes quantiques.

L'approche adoptée par les deux physiciens est d'exprimer une température limite en fonction de la durée du refroidissement, qui peut être atteinte indépendamment du protocole choisi (celui-ci peut être quantique). Les chercheurs ont transposé le problème de la thermodynamique à celui de la théorie de l'information quantique (il existe en effet de grandes similarités entre la notion d'entropie thermodynamique et celle de l'entropie mathématique en théorie de l'information, telle que développée par Claude Shannon et poursuivie par Andreï Kolmogorov). Ils ont comparé une machine thermique, qui refroidit un système en transférant son énergie dans un réservoir, à un ordinateur universel de Turing effectuant des calculs. Par cette démarche, ils ont pu déterminer de



Certains dispositifs nécessitent d'être refroidis, par exemple à l'aide d'azote liquide (ci-dessus). Mais pourrait-on aller jusqu'au zéro absolu ? Il semble bien que non.

façon rigoureuse la température limite qu'il est possible d'atteindre en un temps fini.

Comme on pouvait s'y attendre, un système fixe, de taille finie, ne peut transférer qu'une certaine quantité d'énergie en un temps fini. Et en un temps fini, un tel système ne peut exploiter un réservoir de taille infinie pour y transférer son énergie. De plus, la vitesse de transfert diminue à mesure que la température se rapproche du zéro absolu, de sorte qu'il est impossible d'atteindre le zéro absolu. Les deux physiciens confirment donc l'énoncé du troisième principe de la thermodynamique en consolidant et en généralisant sa démonstration. ■

S. B.

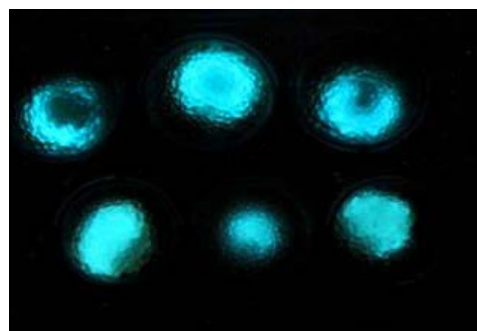
L. Masanes et J. Oppenheim, *Nature communications*, vol. 8, 14538, 2017

BIOTECHNOLOGIE

DÉMINER AVEC DES BACTÉRIES

Chaque année, plusieurs milliers de personnes sont tuées ou blessées par des mines antipersonnel malgré un traité international pour leur interdiction, entré en vigueur en 1999. Près de 100 millions de ces dispositifs seraient toujours enterrés dans près de soixante-dix pays. De vastes campagnes de déminage sont en cours, mais les techniques de détection restent à améliorer. Qu'elles utilisent des rats dressés ou des robots, la recherche des mines ne peut se faire sans intervention humaine et expose les démineurs à de graves accidents.

Shimshon Belkin, de l'université hébraïque de Jérusalem, et son équipe ont observé que les mines libèrent de petites quantités de vapeur d'explosif qui s'accumulent dans le sol. Ils ont alors modifié génétiquement des bactéries pour qu'elles brillent par fluorescence en présence de



Les bactéries, contenues dans ces microcapsules, sont fluorescentes et brillent en présence de vapeurs d'explosifs.

ces composés chimiques. Les bactéries, encapsulées dans des billes en plastique, sont ensuite dispersées dans le champ de mines. Un dispositif laser détecte alors la position des bactéries. ■

S. B.

S. Belkin et al., *Nature Biotechnology*, vol. 35, pp. 308-310, 2017

EN IMAGE

Le lézard ocellé est le plus grand lézard d'Europe et mesure jusqu'à 70 centimètres de longueur pour les mâles. Jeune, le reptile présente une majorité d'écailles marron et certaines forment des taches blanches (ocelles). Progressivement, ces écailles deviennent vertes et noires. Puis, certaines changent de couleur, de noir à vert et inversement. Le motif juvénile disparaît au profit d'un dessin «labyrinthique».

LES MATHS DÉCRIVENT LES MOTIFS DU LÉZARD OCELLÉ

En 1952, le mathématicien anglais Alan Turing a proposé un système d'équations différentielles pour expliquer comment se forment les motifs pigmentaires des zèbres, des tigres, des poissons-clowns, etc. Cependant, les motifs sur le dos du lézard ocellé (*Timon lepidus*, ci-contre), qui dessinent des labyrinthes composés d'écailles vertes et noires, ne semblent pas suivre les équations de Turing. Michel Milinkovitch, de l'université de Genève, et son équipe ont montré que les travaux d'un autre mathématicien de génie, John von Neumann, sur les «automates cellulaires», permettent de décrire les dessins du reptile.

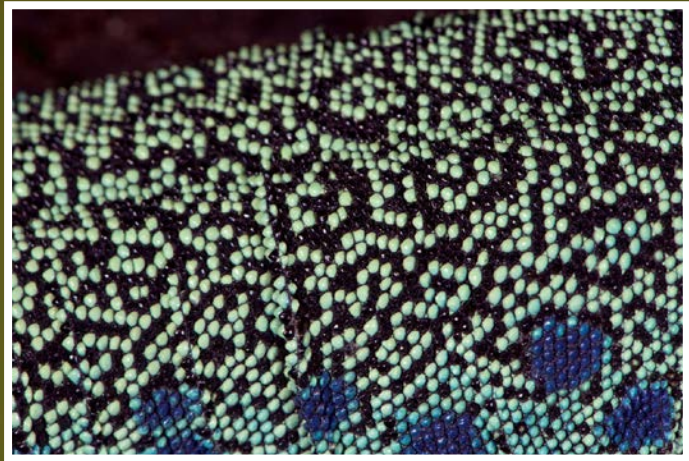
Pendant trois à quatre ans, les chercheurs ont régulièrement examiné au scanner optique trois lézards, afin de suivre l'évolution d'environ 5000 de leurs écailles (voir le médaillon). Ils ont alors identifié les règles de l'automate cellulaire – un réseau de «cellules» (ici les écailles) dont chacune change d'état en fonction des états de ses voisines, selon des règles simples fixées – qui reproduisent ces motifs. Michel Milinkovitch et ses collègues ont simulé par ordinateur cet automate et ont obtenu un résultat très proche de ce que l'on observe chez les reptiles en question.

Une énigme restait à résoudre: à l'échelle cellulaire, les équations de Turing s'appliquent toujours. Comment donnent-elles un comportement d'automate cellulaire? Michel Milinkovitch et ses collègues ont compris que l'épaisseur de la peau sous les écailles joue un rôle important. En effet, la peau est épaisse sous l'écaille, mais très mince à la frontière avec ses voisines. Dans cette région, les interactions des cellules sont donc fortement réduites. En introduisant cet effet dans les équations de Turing et en résolvant celles-ci, les chercheurs ont bien retrouvé des motifs similaires à ceux du lézard ocellé. ■

S. B.

L. Manukyan et al., *Nature*, vol. 544, pp. 173-179, 2017





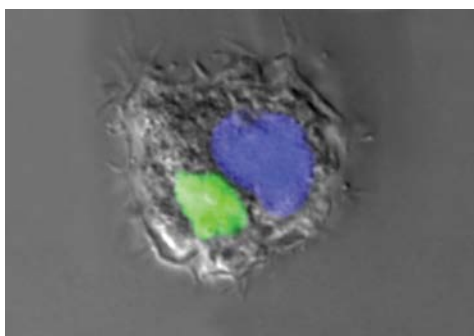
© Shutterstock.com/Omar Alonso Bautista - © L. Manukyan et al./université de Genève (en médaillon)

VIROLOGIE

LA RUSE DU VIRUS GÉANT

Nouméavirus, un virus géant découvert récemment en Nouvelle-Calédonie, semble se répliquer selon une stratégie tout à fait originale d'après les travaux de l'équipe de Jean-Michel Claverie et Chantal Abergel, du CNRS et de l'université Aix-Marseille.

Jusqu'à présent, on connaissait deux stratégies de réplication des virus à ADN, reposant sur des utilisations différentes des enzymes de leur hôte. Certains virus, dits nucléaires, transportent leur ADN dans le noyau de l'hôte où se trouvent les enzymes qui transcrivent l'ADN en ARN, les ARN polymérases. Chez d'autres virus, dits cytoplasmiques, l'ADN viral reste dans le cytoplasme de la cellule contaminée. Ces virus apportent leurs propres ARN polymérases, ce qui leur permet d'enclencher le cycle infectieux et, ensuite, d'utiliser la machinerie de synthèse des protéines de l'hôte. Les particules virales transportent ainsi à la fois des gènes codant ces enzymes et les protéines elles-mêmes. Un grand nombre de virus géants suivent cette seconde stratégie, et Nouméavirus présente aussi de tels gènes. Cependant, une analyse protéomique a montré que lorsqu'il infecte une cellule, l'ADN n'est pas accompagné de ses enzymes de transcription.



Dans une amibe, le noyau (en fluorescence verte) retrouve son intégrité après avoir été perturbé par le virus (dont l'ADN est ici marqué en bleu).

Jean-Michel Claverie, Chantal Abergel et leurs collègues ont suivi le processus dans une amibe dont le noyau avait été chargé en marqueurs fluorescents. Quelques minutes après le début de l'infection, ils ont vu ces marqueurs se répandre dans le cytoplasme : le noyau était devenu perméable aux protéines fluorescentes. En déclenchant cette perméabilisation, le virus peut alors recruter les enzymes du noyau dont il a besoin pour démarrer la transcription de son ADN. Quelques heures plus tard, alors que la multiplication du virus bat son plein dans le cytoplasme, le noyau retrouve son apparence normale. ■

S. B.

E. Fabre et al., *Nature Communications*, vol 8, 15087, 2017

EN BREF

MARCHER POUR LES SCIENCES

Le mouvement « Marche pour les sciences » est né aux États-Unis à la suite de l'élection de Donald Trump, en réponse à la remise en cause des sciences, notamment sur le climat. La marche, qui a eu lieu le 22 avril, a eu un écho international avec 600 rassemblements dans le monde. En France, près de 12 000 personnes ont marché dans une vingtaine de villes pour promouvoir « des sciences ouvertes au cœur de la démocratie ».

Le mouvement, apolitique, rédige un livre blanc avec des propositions autour de trois idées : défendre l'indépendance et la liberté de la recherche, promouvoir un meilleur dialogue entre science et société, renforcer l'emploi des méthodes et résultats scientifiques dans le processus de décision politique.

MICHEL BRUNE, PRIX DES 3 PHYSICIENS 2017



Le prix des Trois Physiciens a été créé en 1951 à la mémoire des fondateurs du laboratoire de physique de l'École normale supérieure (ENS) de Paris, Henri Abraham, Eugène Bloch et Georges Bruhat, tous les trois victimes de la barbarie nazie. Il est décerné chaque année par l'ENS et la fondation Eugène-Bloch. Cette année, il honore Michel Brune, du laboratoire Kastler Brossel, à l'ENS Paris, pour ses travaux sur l'électrodynamique quantique en cavité, en particulier pour la réalisation d'expériences de comptage non destructif de photons.

LES {Partagez les savoirs}

RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

FILMS

Cycle De l'île de Pâques à Rapa Nui : embrasser un territoire
Proposé par A. de la Chapelle (artiste)

Samedi 3 juin - 15h : « Regards sur l'île » : projection & débat
L'île de Pâques, par J. Fernhout et H. Storck (Belgique - 1935 - 26')
Taramiro, par R. Olmos et C. Orziac (France - 1987 - 11')

Samedi 10 juin - 15h : « L'esprit des anciens » : projection & débat
Te Kuhane o Te Tepuna, par L. Pakarati (Chili - 2015 - 65' - VOSTF)

Samedi 17 juin - 15h : « Panoramas insulaires » : lecture, projections & débat
avec P. Vasset, écrivain

CYCLE DE CONFÉRENCES

Du côté des jardins
Ce cycle de conférences est organisé dans le cadre de l'exposition
Jardins des Galeries Nationales du Grand Palais

Lundi 12 juin - 18h : Jardin des livres, livres de jardins
A. Lemaire, conservatrice, bibliothèques du Muséum

Lundi 19 juin - 18h : Les fleurs, entre passion et indifférence
V. Chansigaud, historienne des sciences et de l'environnement, chercheuse associée au laboratoire SPHERE

Lundi 26 juin - 18h : Sauvage ou régulier, mais toujours artificiel
J.-P. Le Dantec, professeur honoraire des ENS d'architecture

Lundi 3 juillet - 18h : Les jardins de l'Anthropocène
A. Sourisseau, paysagiste et agricultrice, A. G. Cohen, doctorant en philosophie de l'écologie, Muséum

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 25 juin - 15h
Médiatrice scientifique, spécialité : herpétologie
Avec F. Serre-Collet

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

LES {Partagez les savoirs}

RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

FILMS

Cycle De l'île de Pâques à Rapa Nui : embrasser un territoire
Proposé par A. de la Chapelle (artiste)

Samedi 3 juin - 15h : « Regards sur l'île » : projection & débat
L'île de Pâques, par J. Fernhout et H. Storck (Belgique - 1935 - 26')
Taramiro, par R. Olmos et C. Orziac (France - 1987 - 11')

Samedi 10 juin - 15h : « L'esprit des anciens » : projection & débat
Te Kuhane o Te Tepuna, par L. Pakarati (Chili - 2015 - 65' - VOSTF)

Samedi 17 juin - 15h : « Panoramas insulaires » : lecture, projections & débat
avec P. Vasset, écrivain

CYCLE DE CONFÉRENCES

Du côté des jardins
Ce cycle de conférences est organisé dans le cadre de l'exposition
Jardins des Galeries Nationales du Grand Palais

Lundi 12 juin - 18h : Jardin des livres, livres de jardins
A. Lemaire, conservatrice, bibliothèques du Muséum

Lundi 19 juin - 18h : Les fleurs, entre passion et indifférence
V. Chansigaud, historienne des sciences et de l'environnement, chercheuse associée au laboratoire SPHERE

Lundi 26 juin - 18h : Sauvage ou régulier, mais toujours artificiel
J.-P. Le Dantec, professeur honoraire des ENS d'architecture

Lundi 3 juillet - 18h : Les jardins de l'Anthropocène
A. Sourisseau, paysagiste et agricultrice, A. G. Cohen, doctorant en philosophie de l'écologie, Muséum

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 25 juin - 15h
Médiatrice scientifique, spécialité : herpétologie
Avec F. Serre-Collet

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr, rubrique : "Les rendez-vous du Muséum"



PRÉHISTOIRE

NÉANDERTAL EN AMÉRIQUE?

À San Diego, ce qui ressemble à une boucherie préhistorique très antérieure aux premiers vestiges humains connus en Amérique intrigue. En 1992, des chercheurs du muséum de la ville ont mis au jour 300 fragments d'os de mastodonte portant de nombreuses traces de percussion et accompagnés de pavés. Ils ne semblent pas pouvoir être dus à un processus naturel, mais leur âge, qui vient d'être établi, serait de 130 000 ans, alors que l'on pensait les premiers Américains arrivés il y a quelque 15 000 ans.

La nouvelle a provoqué une levée de boucliers chez les préhistoriens américains, qui réclament d'autres traces humaines plus certaines. On sait pourtant que le climat était froid il y a 130 000 ans, de sorte que des Eurasiens ont fort bien pu passer en Amérique. Des Néandertaliens? ■

F. S.

S. Holen et al., *Nature*, vol. 544, pp. 479-495, 2017

BIOLOGIE

LE MICROBIOTE DÉCIDE DU MENU

Le microbiote a une grande influence sur la santé et peut être source de certaines maladies, comme la dépression ou l'hypertension. Il influencerait aussi le choix des aliments. L'équipe de Carlos Ribeiro, du centre Champalimaud, à Lisbonne, et ses collègues ont identifié certains mécanismes impliqués dans ce choix chez la drosophile.

Les chercheurs ont contrôlé l'alimentation des insectes en retirant divers acides aminés. La suppression de certains acides aminés essentiels a entraîné une baisse de la reproduction et une préférence pour de la levure (connue pour couvrir les besoins en protéines de l'insecte). Celle d'autres tout aussi importants, en revanche, n'a rien changé. Les biologistes ont découvert que certaines bactéries du microbiote, notamment *Acetobacter* et *Lactobacillus*, produisaient des métabolites à partir de l'alimentation de la drosophile lui indiquant qu'elle pouvait se passer des acides aminés manquants. Et ainsi, son activité de reproduction n'était pas altérée. ■

S. B.

R. Leitão-Gonçalves et al., *PLoS Biology*, vol. 15(4), e2000862, 2017

PHYSIQUE

LA MUSIQUE DES MÉTÉORES ENFIN EXPLIQUÉE?



Les Perséides (ici en 2015) sont une pluie de météores revenant chaque année après le 20 juillet, issue des débris de la comète Swift-Tuttle. Leurs tailles varient du grain de sable au petit pois.

Qu'inze mille tonnes de météorites frappent le sol chaque année. Une masse bien plus grande encore de météores, c'est-à-dire de corps extraterrestres entrant dans l'atmosphère sans parvenir au sol, se consume aussi dans l'air. Or de très nombreux témoins rapportent avoir entendu, alors qu'un météore se consumait dans le ciel devant eux, des craquements et des crisements dans le sol ou du moins autour d'eux. Ces sons ne peuvent provenir directement du météore volant à plusieurs dizaines de kilomètres d'altitude, car ils mettraient quelques minutes pour arriver. Alors? Michael Kelley, de l'université Cornell, et Colin Price, de celle de Tel Aviv, proposent que les oscillations de forts champs électriques établis à l'arrière du météore induisent des ondes radio (c'est-à-dire de longueur d'onde supérieure au millimètre), lesquelles font résonner des corps au sol.

L'idée n'est pas nouvelle, mais les mécanismes d'émission des ondes radio diffèrent d'une théorie à l'autre. Pour les deux chercheurs, les théories existantes ne sont pas satisfaisantes. Dans leur vision, le frottement du météore contre l'air ionise de nombreux atomes. Tandis que les ions suivent le météore, les électrons s'éloignent, déviés par le champ magnétique terrestre. Ce phénomène entraîne l'établissement de champs électriques très intenses en arrière du météore, lesquels engendrent de forts courants électriques oscillants à l'origine de bouffées d'ondes radio, exactement comme dans une antenne. D'après leurs calculs, les champs à la traîne des météores seraient si forts que la conversion en ondes sonores de seulement un millième de l'énergie de leurs émissions radio suffirait à engendrer des puissances sonores perceptibles. Si cette théorie se révélait pertinente, elle expliquerait un phénomène longtemps resté de l'ordre du mythe.

F. S.

M. C. Kelley et C. Price, *Geophysical Research Letters*, vol. 44, pp. 2987-2990, 2017

ÉVOLUTION

COMMENT LES CYANOBACTÉRIES ONT COMMENCÉ À RESPIRER

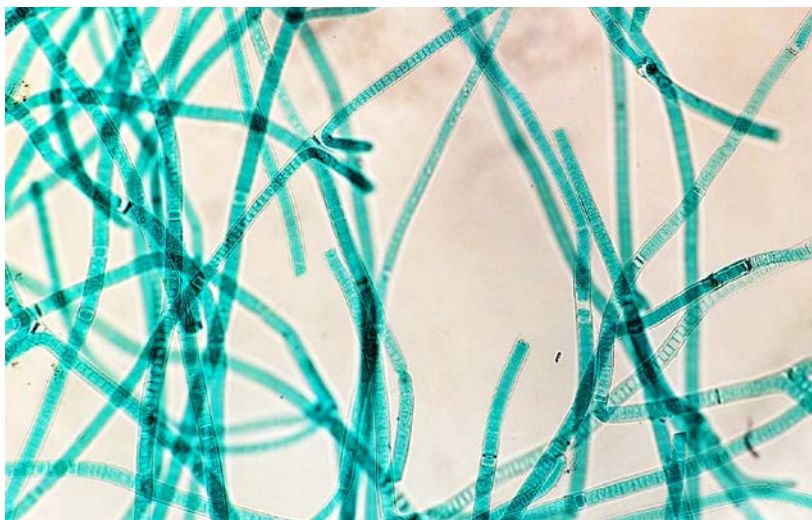
Il y a environ 2,6 milliards d'années, les cyanobactéries ont acquis la capacité de synthétiser du dioxygène par photosynthèse en incorporant des gènes provenant d'autres organismes.

On doit l'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère terrestre, il y a 2,3 milliards d'années environ, aux cyanobactéries capables de réaliser la photosynthèse, dite oxygénique. D'autres organismes effectuaient la photosynthèse (le processus de production de matière organique en utilisant la lumière du soleil), mais seules les cyanobactéries avaient la machinerie spécifique qui produit du dioxygène.

Il est cependant difficile de savoir si la photosynthèse est d'abord apparue chez les cyanobactéries, avant d'être transférée aux autres bactéries, ou si le contraire s'est produit. En décrivant et analysant le génome de 41 nouvelles bactéries affiliées aux cyanobactéries, Rochelle Soo, de l'université du Queensland, en Australie, et ses collègues soutiennent la seconde hypothèse: ce serait par transfert horizontal de gènes, c'est-à-dire en incorporant des gènes provenant d'autres organismes, que les cyanobactéries ont acquis la capacité de réaliser la photosynthèse oxygénique.

Les cyanobactéries seraient réparties en trois classes partageant un ancêtre commun: les oxyphotobactéries (les cyanobactéries photosynthétiques classiques), la classe Melainabacteria (décrite en 2013) et une nouvelle classe, mal connue, que Rochelle Soo et ses collègues ont nommée Sericytochromatia. Pour en savoir plus, les chercheurs ont analysé des données métagénomiques et ainsi découvert 38 nouvelles espèces de la classe Melainabacteria et 3 espèces de la classe Sericytochromatia. L'étude des génomes montre que ces deux classes ne possèdent aucune des deux machineries cellulaires simultanément nécessaires pour la photosynthèse oxygénique, à savoir les photosystèmes I et II. «Bien qu'on puisse remettre en cause la classification proposée par les auteurs de ces classes dans le groupe des cyanobactéries, ces travaux montrent que l'ancêtre des cyanobactéries, commun à ces deux classes, n'avait aucune capacité photosynthétique», commente Purificación López-García, de l'université Paris-Sud.

D'après Rochelle Soo et son équipe, les oxyphotobactéries ont acquis la photosynthèse oxygénique après s'être séparées des deux autres classes, en intégrant des gènes issus



Il y a 2,3 milliards d'années, une classe de cyanobactéries (ici du genre *Tolypothrix*), ayant la capacité de réaliser la photosynthèse oxygénique, a enrichi l'atmosphère terrestre en oxygène.

7 500

ESPÈCES DE
CYANOBACTÉRIES,
AU MOINS, SONT
CONNUES POUR
RÉALISER LE
PROCESSUS DE LA
PHOTOSYNTÈSE.
PLUSIEURS
CENTAINES VIVENT
LIBREMENT,
MAIS LA PLUPART
SONT EN SYMBIOSE
AVEC DES
CHAMPIGNONS
(DANS LES LICHENS),
DES ÉPONGES,
DES AMIBES, ETC.

d'autres organismes. «Les photosystèmes I et II étaient déjà présents dans d'autres bactéries photosynthétiques anoxygéniques, mais jamais ensemble. C'est en acquérant l'ensemble des gènes codant les deux photosystèmes que les cyanobactéries ont accédé à la photosynthèse produisant du dioxygène, beaucoup plus efficace sur le plan énergétique», explique Purificación López-García.

En janvier 2017, des travaux reposant sur la notion d'horloge génétique dataient la divergence entre les mélainabactéries et les oxyphotobactéries à 2,5-2,6 milliards d'années. L'équipe de Rochelle Soo estime donc que l'apparition de la photosynthèse oxygénique s'est produite à cette époque, plus récente qu'on ne l'admettait généralement.

L'analyse comparée des génomes montre enfin que les machineries cellulaires de la chaîne respiratoire, présentes dans les trois classes de cyanobactéries, sont apparues de façon indépendante, provenant ainsi d'autres organismes variés. Cela confirme l'importance des transferts horizontaux de gènes lors de l'acquisition de processus cellulaires fondamentaux par les bactéries. ■

MARTIN TIANO

R. M. Soo et al., *Science*, vol. 355, pp. 1436-1440, 2017

EN BREF

COMMENT SAVOIR SI QUELQU'UN RÊVE ?

Une découverte récente permet de déterminer avec une bonne fiabilité si une personne rêve. En réveillant plusieurs fois une trentaine de sujets pour savoir s'ils rêvaient, Francesca Siclavi, de l'université de Lausanne, et ses collègues ont identifié une zone toujours très active pendant les songes. Cette région à l'arrière du cerveau comprend notamment des aires sensorielles (surtout visuelles) et impliquées dans l'intégration des données perceptives, ce qui rend cette région propice à la simulation virtuelle caractéristique des rêves.

DES CHENILLES MANGE-PLASTIQUE

Le polyéthylène représente 40 % de la production européenne de plastique. Or il n'est pas biodégradable et s'accumule dans la nature. Plusieurs approches, utilisant des produits chimiques ou des bactéries ont été testées pour le dégrader, mais elles sont lentes. Federica Bertocchini, de l'université de Cantabrie, en Espagne, et ses collègues ont observé que la chenille de la fausse teigne de la cire (*Galleria mellonella*) dévore le plastique pour former de l'éthylène glycol, certes toxique, mais plus facile à dégrader.

URANUS SE DÉVOILE AVEC SES AUBURES

Les aubures polaires sont liées à d'intimes interactions du champ magnétique de la planète, de son atmosphère et du vent solaire. Celles d'Uranus ont été rarement vues. En surveillant les éruptions solaires, Laurent Lamy, de l'observatoire de Paris, et ses collègues ont estimé le moment où Uranus recevrait une bouffée de vent solaire. Ils ont ainsi détecté plusieurs aubures, grâce au télescope spatial *Hubble*. Ce qui leur a permis d'étudier le champ magnétique d'Uranus et de déterminer la position de ses pôles.

COSMOLOGIE

L'ÉNERGIE SOMBRE, UNE ILLUSION ?

En 1998, l'étude d'un type particulier d'explosions d'étoiles, les supernovæ de type Ia, a permis d'affirmer que l'Univers est en expansion accélérée. Cette conclusion s'inscrit dans le cadre du modèle standard de la cosmologie qui, pour simplifier les calculs, fait l'hypothèse que l'Univers est homogène à grande échelle. Or pour expliquer cette dynamique accélérée, il faut supposer l'existence d'une «énergie sombre», qui représenterait 68 % du contenu de l'Univers et dont la nature est inconnue. Mais une autre approche est revenue à l'actualité.

Elle consiste à prendre en compte les hétérogénéités dans la distribution de la matière (les amas de galaxies et les vides cosmiques). En 2000, Thomas Buchert, maintenant à l'université Claude-Bernard, à Lyon, a suggéré qu'un effet de rétroaction pouvait jouer sur la vitesse d'expansion de l'Univers: les régions riches en matière tendent à courber l'espace-temps de telle sorte que l'expansion de l'Univers serait plus lente dans ces régions et plus rapide dans les espaces vides.

Ces hétérogénéités expliqueraient ainsi la dynamique cosmique observée sans faire appel à l'énergie sombre. Cette idée vient de recevoir



DES EXPLOSIONS EXCEPTIONNELLES

L'étude des supernovæ de type Ia (en bas, à gauche) suggère une expansion cosmique accélérée. La cause reste inconnue.

le renfort des simulations de Gábor Rácz, de l'université Loránd Eötvös, et ses collègues: l'effet des hétérogénéités conduit à des résultats comparables à la dynamique d'expansion observée. Mais certains experts, qui ont réalisé d'autres simulations fondées sur les hétérogénéités, sont étonnés par l'importance de l'effet de rétroaction trouvé. Les chercheurs doivent encore comparer leurs hypothèses de travail pour comprendre d'où viennent ces différences. Et selon d'autres cosmologistes, la rétroaction devrait être si faible que l'hypothèse de l'énergie sombre ne peut être écartée. La lumière est loin d'être faite sur cette énigme de l'Univers... ■

S. B.

G. Rácz et al., *MNRAS*, en ligne, 2017

MÉDECINE

DES NANOPARTICULES FRANCHISSENT LE MUCUS

Depuis les années 2000, les chercheurs mettent au point des nanoparticules biodégradables servant de «cargos» pour transporter, par voie respiratoire, des médicaments jusqu'aux cellules épithéliales qui tapissent les muqueuses des poumons afin de traiter, par exemple, des symptômes locaux liés à l'asthme ou la mucoviscidose. Mais la plus grande partie des substances actives sont arrêtées par le mucus, liquide visqueux qui protège les bronches. Craig Schneider et ses collègues, de l'université Johns Hopkins, à Baltimore, aux États-Unis, proposent d'utiliser des nanoparticules modifiées en surface par des chaînes de polyéthylène-glycol qui les rendent non mucoadhésives.

Des travaux théoriques datant de 2012 semblaient indiquer que de telles nanoparticules

ne sont pas adaptées aux voies respiratoires, en raison de la trop grande épaisseur de la couche de mucus qui les caractérise.

Grâce à des expériences *in vivo*, les chercheurs de Baltimore contredisent cette idée: chez la souris, non seulement les nanoparticules mucopénétrantes diffusent plus vite dans les bronches, mais elles sont aussi réparties de façon plus uniforme et retenues plus longtemps dans les tissus que les nanoparticules mucoadhésives. Utilisées pour transporter un anti-inflammatoire stéroïdien, les nouvelles nanoparticules réduisent plus efficacement des inflammations pulmonaires aiguës chez le rongeur. Il reste à tester cette technique chez l'homme. ■

M. T.

C. Schneider et al., *Science Advanced*, vol. 3, e1601556, 2017

TECHNOLOGIE

IMPRIMER DU VERRE EN 3D

Bastian Rapp et ses collègues de l'institut de technologie de Karlsruhe ont mis au point un procédé pour imprimer en trois dimensions et avec une haute précision des objets en verre de silice.

Jusqu'à présent, c'était impossible, car pour obtenir du verre, et notamment du verre de haute qualité, des températures élevées et des produits chimiques agressifs sont nécessaires. Les chercheurs ont contourné le problème en incorporant des nanoparticules de silice dans une matrice monomère liquide. En utilisant la stéréolithographie, une technique d'impression 3D qui solidifie la matrice à l'aide d'un laser, il est possible de donner au matériau ainsi préparé des formes tridimensionnelles complexes comportant des détails de taille micrométrique. Le polymère obtenu est vitrifié par chauffage à 1300°C. D'après les chercheurs, le verre obtenu est dénué de pores et sa surface a une très faible rugosité (quelques nanomètres). Aussi transpa-



CHÂTEAU DE VERRE

Ce minuscule portail de château a été imprimé en verre par le nouveau procédé d'impression 3D.

rent que le verre classique, il peut être utilisé en optique. La technique inventée à Karlsruhe devrait même permettre de fabriquer des verres colorés. Comment? En ajoutant des sels métalliques appropriés, comme le font les verriers depuis des siècles. ■

ALINE GERSTNER

F. Kotz et al., *Nature*, vol. 544, pp. 337-339, 2017

EN BREF

UNE SUPERNOVA LENTILLÉE

Les lentilles gravitationnelles sont des objets massifs (galaxie, amas de galaxies) qui, en déformant l'espace-temps voisin, dévient la lumière d'une source en arrière-plan et peuvent alors en produire une image amplifiée, voire plusieurs exemplaires (la lumière empruntant plusieurs chemins de différentes longueurs). Ariel Goobar, du centre Oskar Klein, à Stockholm, et son équipe ont détecté quatre images d'une même supernova à travers une lentille gravitationnelle. Cette supernova est de type Ia, c'est-à-dire de celles qu'on utilise pour mesurer les distances dans l'Univers. En étudiant le temps mis par la lumière de chaque image, les chercheurs en apprendront plus sur l'expansion du cosmos.

4ÈME ÉDITION

Au cinéma le **Grand Action**
5 rue des Écoles, 75005, Paris

UNIVERS
CONVERGENTS

sciences-fictions-société

Le ciné-club de
l'Institut Henri Poincaré

Prochaines séances :

30 mai - *The private life of Sherlock Holmes*
27 juin - *The Big Short*

Le dernier mardi de chaque mois
En présence de Cédric Villani et de nombreux intervenants

Entrée libre sur réservation :
www.ihp.fr/cine-club-2017
En partenariat avec :

ihp Institut Henri Poincaré

cnrs upmc carmin GRAND ACTION SCIENCE