

POUR LA SCIENCE

www.pourlascience.fr

8, rue Férou - 75278 Paris cedex 06

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice de la rédaction : Françoise Pétry

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs : François Savatier, Philippe Ribeau-Gésippe,

Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef : Françoise Pétry

Rédacteur : Sébastien Bohler

L'Essentiel Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef adjointe : Bénédicte Salthun-Lassalle

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Sylvie Sobelman,

Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, Caroline Vanhoove

Marketing : Élise Abib et Ophélie Maillet

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne assistée d'Olivier Lacam.

Presse et communication : Susan Mackie

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Conseillers scientifiques : Philippe Boulanger et Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Francesco Bonadonna, Yvan Castin, Eitan Haddok,

Martin Lemoine, Jean Nabucet, Yvan Pandelé,

Christophe Pichon, Daniel Tacquenet, Alexandra Veyrac

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jf.guillotin@pourlascience.fr), assisté de Nada Mellouk-Raja

Tél. : 01 55 42 84 28 ou 01 55 42 84 97 • Fax : 01 43 25 18 29

SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Bouffaré. Tél. : 01 55 42 84 04

Espace abonnements :

http://tinyurl.com/abonnements-pourlascience

Adresse e-mail : abonnements@pourlascience.fr

Service des abonnements - 8, rue Férou - 75278 Paris cedex 06

Commande de livres ou de magazines :

Pour la Science 628 Avenue du Grain d'Or 41350 Vineuil

DIFFUSION DE POUR LA SCIENCE

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tel : 04 88 15 12 41

Canada : Edipresse : 945, avenue Beaumont, Montréal, Québec, H3N 1W3 Canada.

Suisse : Servidis : Chemin des châlets, 1979 Chavannes - 2 - Bogis

Belgique : La Caravelle : 303, rue du Pré-aux-oies - 1130 Bruxelles.

Autres pays : Éditions Belin : 8, rue Férou - 75278 Paris Cedex 06.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief : Mariette DiChristina.

Editors : Fred Guterl, Ricky Rusting, Philip Yam, Mark Fischetti,

Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix,

Kate Wong. President : Steven Inchcoombe. Executive Vice

President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par « Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la Science S.A.R.L. », 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie [20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris].



Transmissions

Le mot vulgarisation est critiqué par certains, car il est associé à vulgaire. D'aucuns proposent le terme popularisation, mais est-ce plus flatteur ? La notion de médiation scientifique, qui tente de s'imposer, fait plutôt référence à une animation ou une communication autour de la science. Quoi qu'il en soit, que fait le vulgarisateur ? C'est un passeur de savoir, une courroie de transmission entre le spécialiste et celui qui ne l'est pas.

L'enseignant aussi est un passeur de savoir. Il s'adresse à des élèves plus ou moins motivés, mais tenus – en théorie – d'assister aux cours. Au contraire, le vulgarisateur s'adresse à des lecteurs *a priori* motivés, mais que rien ne contraint à acheter un magazine. S'ils sont séduits par le fond et la forme, sans doute achèteront-ils le numéro suivant, voire – espoir de tout éditeur de presse – s'abonneront-ils.

Sans fausses promesses, sans sensationnalisme

Sans effets de manches, sans simplification excessive, sans fausses promesses, sans sensationnalisme, le vulgarisateur conte la science qui se construit, pas à pas, parfois piétine ou fait fausse route. Et s'il expliquait, mais surtout cherchait à donner l'envie de comprendre, à attiser la curiosité, susciter des vocations, établir des passerelles entre les disciplines, faire en sorte que la culture scientifique retrouve sa place dans la culture générale ?

Pour expliquer, le journaliste scientifique doit d'abord comprendre... au moins la mousse des choses. Travail exigeant, réclamant rigueur, honnêteté intellectuelle et esprit critique pour distinguer une découverte importante d'une annonce faite par un bon communicant. Mais surtout travail passionnant. Possible parce que les chercheurs, considérant que la diffusion des connaissances scientifiques fait partie de leur mission, acceptent de présenter les résultats de la recherche en se pliant aux contraintes de la vulgarisation. Possible aussi parce que des lecteurs apprécient les informations scientifiques sélectionnées, validées, mises en perspective, loin de l'instantanéité des flux d'informations disponibles sur Internet.

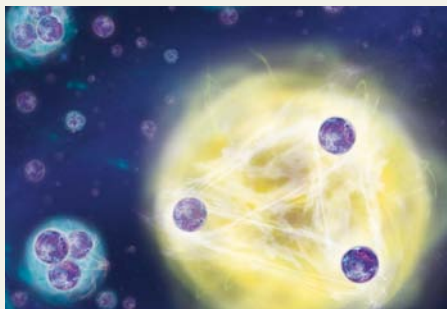
Pourquoi ce petit texte sur la vulgarisation scientifique ? Pour donner à entrevoir le travail de l'équipe de *Pour la Science* et la façon dont est élaboré ce magazine. Et parce que cette équipe va continuer à porter le flambeau que je leur transmets avec mon dernier éditorial dans ces colonnes !

Françoise Pétry directrice de la rédaction

1 Édito

Actualités

- 4 Naïa, jeune première Américaine
- 6 Des micro-organismes se jouent du code génétique
- 8 Des systèmes triatomiques géants



9 Une biopile inusable

Retrouvez plus d'actualités sur
www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 12 **Point de vue**
Pour une économie morale des gènes
Maurice Cassier
- 14 **Questions ouvertes**
Qu'est-ce que la chimie verte ?
Laura Maxim
- 18 **Homo sapiens informaticus**
Les avatars du Docteur Diafoirus
Gilles Dowek
- 20 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Les Simpson savaient-ils ?
Gérald Bronner
- 21 **Lu sur SciLogs.fr**
Peut-on ressusciter des espèces ?
Vincent Devictor



Ce numéro comporte deux encarts d'abonnement à *Pour la Science* brochés sur la totalité du tirage, ainsi qu'un encart « Voyage culturel en Turquie » [Dialogue Marketing] posé sur la totalité de diffusion abonnés
En couverture : © fullerko/shutterstock.com

À LA UNE

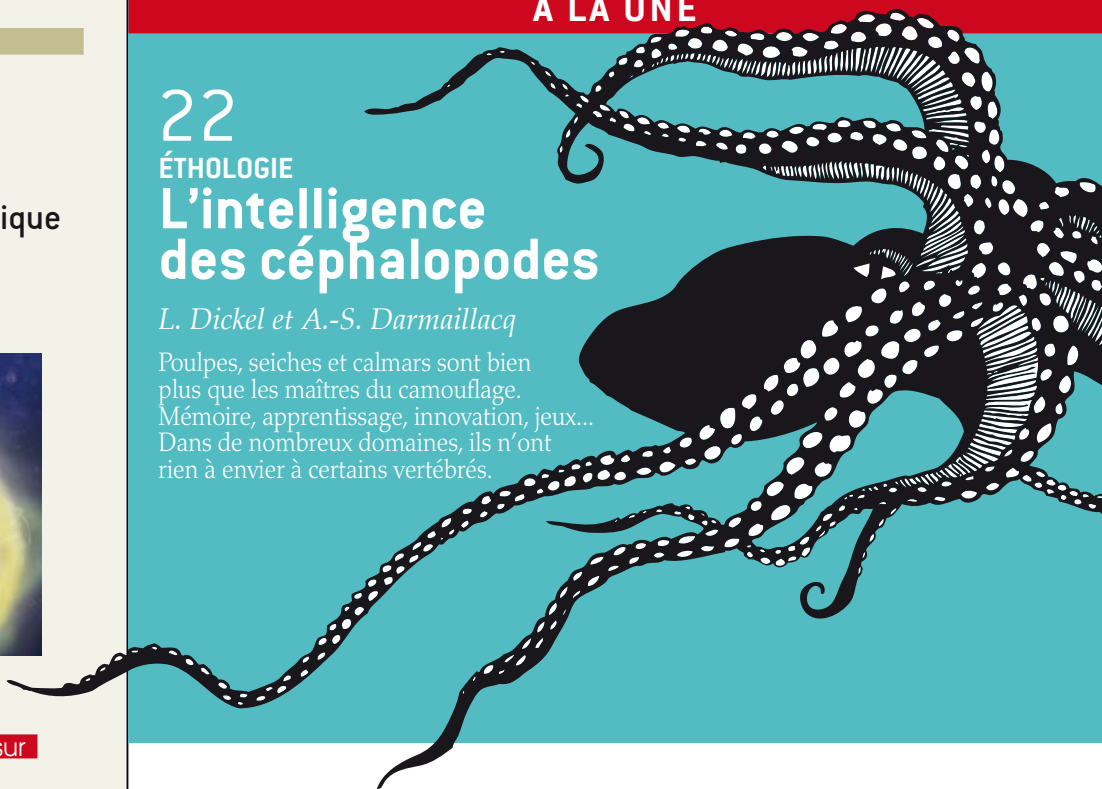
22

ÉTHOLOGIE

L'intelligence des céphalopodes

L. Dickel et A.-S. Darmaillacq

Poulpes, seiches et calmars sont bien plus que les maîtres du camouflage. Mémoire, apprentissage, innovation, jeux... Dans de nombreux domaines, ils n'ont rien à envier à certains vertébrés.



30 SCIENCE DES MATÉRIAUX Le silicène sur les traces du graphène

Guy Le Lay

Le silicène est un nouveau matériau constitué d'une unique couche d'atomes de silicium. Parce qu'il allie les caractéristiques de cet élément et les propriétés électroniques du graphène, il pourrait conduire à de nombreuses applications.

38 ASTROPHYSIQUE La fin de l'âge sombre

Michael Lemonick

Après l'émission du rayonnement du fond diffus cosmologique, l'Univers a progressivement été plongé dans l'obscurité jusqu'à l'apparition des premières étoiles. À quoi ressemblaient ces astres et quand sont-ils apparus ?

46 PSYCHOLOGIE Mémoire : un effet Google ?

Daniel Wegner et Adrian Ward

Les gens ont depuis toujours compté les uns sur les autres pour mémoriser et retrouver les informations qui leur sont utiles. Aujourd'hui, on s'en remet souvent à Internet, ce qui influe sur la mémorisation et sur la perception de soi.

50 MATHÉMATIQUES

Les notes de Ramanujan, un trésor inépuisé

Ariel Bleicher

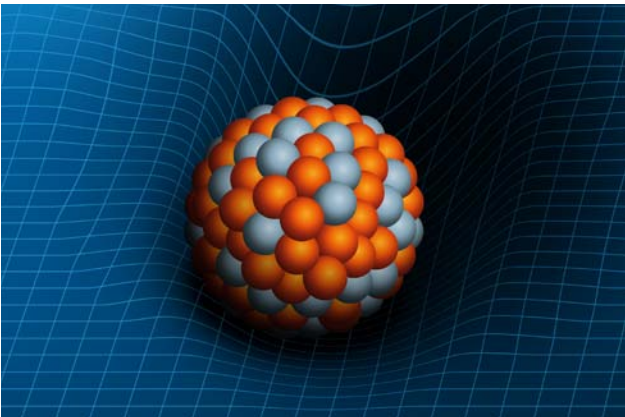
Au début du XX^e siècle, le prodige indien Srinivasa Ramanujan a couvert plusieurs carnets de résultats mathématiques étonnants. Les mathématiciens s'en inspirent encore pour faire de nouvelles découvertes.

56 PHYSIQUE

Le principe d'équivalence à l'épreuve quantique

Domenico Giulini

L'égalité entre la masse qui mesure l'inertie et la masse qui détermine la gravitation est au fondement de la relativité générale d'Einstein. Une expérience récente censée la tester sur des objets quantiques divise les spécialistes.



64 ÉNERGIE

Énergies renouvelables : l'essor sera lent

Vaclav Smil

Beaucoup espèrent un passage rapide aux énergies renouvelables. Mais l'histoire des transitions énergétiques montre qu'elles nécessitent deux à trois générations.



Rendez-vous

72 Histoire des sciences

Coriolis, théoricien de la mécanique appliquée

Alexandre Moatti

La force de Coriolis, cause de la rotation des vents sur la Terre, est célèbre, contrairement à l'ingénieur-savant qui lui a donné son nom.

76 Logique & calcul

Un tour de cartes mathématique

Jean-Paul Delahaye

Pour réussir un bon tour de cartes, il faut être agile de ses mains... ou alors connaître les suites de de Bruijn.

82 Science & fiction

Des aliens pas si rapides

Roland Lehoucq et J. Sébastien Steyer

84 Art & science

L'ADN fait bonne figure

Loïc Mangin

86 Idées de physique

Le réfrigérateur qui transpire

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

90 Question aux experts

Percevons-nous des informations à notre insu ?

Sylvie Chokron

91 Science & gastronomie

Goûts thermiques en bouche

Hervé This

92 À lire

96 Bloc-notes

Les chroniques de Didier Nordon

POUR LA
SCIENCE

Maintenant sur tablette et sur smartphone !

Téléchargez gratuitement
l'application « Pour la Science »

Un extrait du numéro
en cours de parution
vous est offert !



Le numéro du
Dossier Pour la Science
de l'été est enrichi

Disponible sur
Google play

Disponible sur
App Store





Le squelette Naïa au moment de sa découverte dans une grotte immergée du Yucatán (a, b). Les chercheurs ont immédiatement numérisé la forme du crâne sur une table spéciale (c).

Paléontologie humaine

Naïa, jeune première Américaine

La découverte d'un squelette humain bien conservé dans une grotte mexicaine submergée confirme, une fois de plus, les origines eurasiatiques des premiers habitants de l'Amérique.

Dans le Yucatán, au Mexique, l'eau coule seulement au fond des grottes. Naïa devait avoir 15 ans quand elle fit la même erreur qu'un mastodonte, un félin à dent de sabre, un tapir et un ours avant elle : croyant pouvoir étancher sa soif, elle s'aventura sur plus de 600 mètres dans une grotte nommée *Hoyo Negro*, s'y perdit et finit par tomber et mourir au fond d'une vaste salle souterraine. Treize millénaires plus tard, le squelette de cette jeune femme, que ses découvreurs ont nommée Naïa, confirme que les tout premiers Américains provenaient de Béringie.

Cette région située entre l'Eurasie et l'Amérique, immergée aujourd'hui, était en effet à découvert durant le dernier maximum glaciaire, il y a quelque 20 000 ans. Selon la théorie dominante sur le peuplement des Amériques, il y a entre 26 000 et 18 000 ans, des

groupes de chasseurs-cueilleurs eurasiatiques – européïdes ou mongoloïdes – qui vivaient en Béringie sont passés en Amérique. Toutefois, l'étude anatomique des plus anciens restes américains suggèrerait que ce continent avait aussi été peuplé par une vague africanoïde plus ancienne (type partagé par les Océaniens, les Aborigènes et les Africains).

Les plongeurs du projet *Hoyo Negro* ont découvert Naïa sous les 25 mètres d'eau qui ont envahi la grotte depuis la déglaciation, il y a au moins 4 000 ans. Presque complet, ce squelette d'une jeune femme de 1,5 mètre et âgée de 15 à 16 ans la rend comparable à tous les fossiles paléoaméricains anciens et aux fossiles du Paléolithique supérieur du Nord de l'Eurasie. Sa datation indique que Naïa est morte il y a entre 12 000 et 13 000 ans. Le modèle numérique de son crâne a ainsi

permis d'établir que les traits de sa face ressemblent à ceux des autres fossiles américains anciens et des fossiles du Paléolithique supérieur d'Eurasie (40 000 à 10 000 ans avant notre ère).

Cependant, certaines caractéristiques de la dentition de Naïa la distinguent des Amérindiens actuels et la rapprochent des Océaniens.

Et que dit son ADN ? Tout le contraire. L'équipe américaine de James Chatters n'a pas pu retrouver de collagène dans les os de Naïa. En revanche, dans l'ADN que les chercheurs ont extrait de la troisième molaire supérieure, ils ont isolé de nombreux fragments d'ADN mitochondrial (qui se trouve dans les mitochondries, de petits organites des cellules, et qui est transmis par les femmes seulement).

Le séquençage de cet ADN et sa reconstitution ont fait apparaître que Naïa était porteuse d'un groupe de gènes se transmettant de conserve, le sous-haplotype D1, qui dérive

du haplotype asiatique D, mais qui n'est présent que chez les Amérindiens – et ce d'autant plus qu'ils vivent au Sud (29,5 pour cent des Amérindiens du Chili et d'Argentine en sont porteurs, contre 10,5 pour cent en moyenne sur toute l'Amérique).

Cette constatation suggère que Naïa faisait partie de la population ayant apporté le sous-haplotype D1 en Amérique du Sud. En d'autres termes, comme les Amérindiens modernes, la jeune femme descend des Béringiens. C'est un indice fort de plus en faveur d'une origine uniquement béringienne des premiers humains d'Amérique. Les traits anatomiques qui distinguent les premiers Amérindiens de ceux d'aujourd'hui seraient donc le fruit d'une évolution postérieure à leur arrivée en Amérique et non un héritage dû à une mystérieuse vague de peuplement africanoïde.

François Savatier

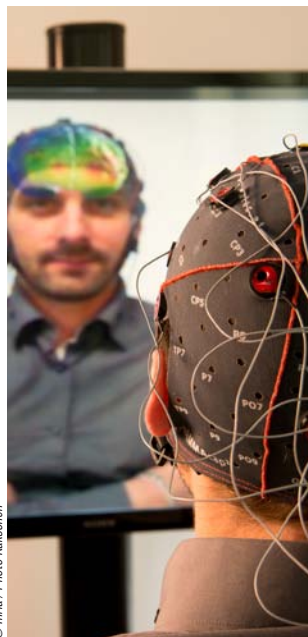
J. C. Chatters et al.,
Science, vol. 344, pp. 750-754, 2014



Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux

Neurosciences

Voir son propre cerveau fonctionner



© Inria / Photo Kaksanen

Mélangez un jeu vidéo de réalité augmentée avec l'imagerie cérébrale et vous obtenez *Mind-Mirror*, le premier système qui vous permet de voir l'activité de votre cerveau pendant que vous faites un calcul ou que vous vous détendez, par exemple. On projette l'image de votre buste sur un écran grâce à une caméra vidéo qui vous filme en permanence, on y superpose en transparence l'image virtuelle d'un cerveau – c'est le principe de la réalité augmentée – et on ajoute l'activité de votre propre cerveau mesurée en temps réel par le casque d'électroencéphalographie (EEG) que vous portez. C'est le dispositif que Anatole Lécuyer et ses collègues, de l'Inria et de l'INSA à Rennes, ont mis au point et qu'ils

espèrent utiliser dans le domaine du *neurofeedback*, une technique de soin où le sujet observe son cerveau pour mieux le contrôler.

Selon notre état mental, nos pensées, notre attention, etc., l'activité électrique mesurée par EEG varie. Le *neurofeedback* consiste à visualiser cette activité pour la moduler et traiter ainsi certains troubles dépressifs ou de l'attention. Le dispositif *Mind-Mirror* fournirait au patient des informations très riches : son activité cérébrale est reconstruite en temps réel et projetée sur son « cerveau virtuel » affiché à l'écran. Le patient a alors l'impression de voir fonctionner son cerveau, ce qui peut l'aider à mieux le maîtriser.

Bénédicte Salthun-Lassalle

J. Mercier-Ganady et al., *IEEE*, en ligne, avril 2014

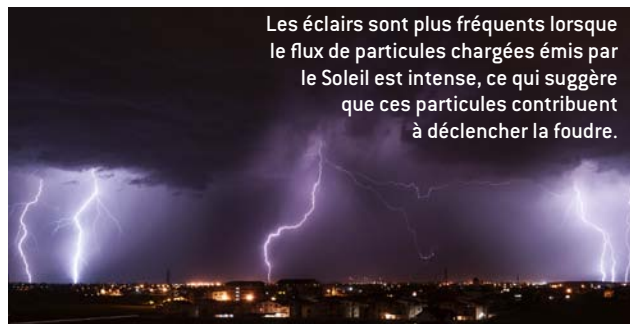
Météorologie

Le vent solaire favorise les éclairs

Les facteurs qui déclenchent les éclairs sont encore mal connus. Une étude menée par l'équipe de Christopher Scott, de l'Université de Reading au Royaume-Uni, pointe aujourd'hui un coupable : les particules énergétiques émises par le Soleil.

Dans un nuage d'orage, sans doute sous l'effet de collisions entre ses constituants, le sommet se charge positivement tandis que la base se charge négativement. Une différence de potentiel pouvant atteindre 100 millions de volts se crée entre le bas du nuage et le sol. Mais l'air étant un bon isolant, pour qu'un éclair se produise, il faut d'abord que se forme un chemin de molécules ionisées, qui agit comme un conducteur et amorce la décharge.

Qu'est-ce qui provoque cette ionisation initiale ? Peut-être les particules du vent solaire rapide. Le Soleil émet en permanence un flux de particules chargées. Les plus énergétiques (des pro-



Les éclairs sont plus fréquents lorsque le flux de particules chargées émis par le Soleil est intense, ce qui suggère que ces particules contribuent à déclencher la foudre.

© Mhaz / Maxins / shutterstock.com

tons) peuvent pénétrer le champ magnétique terrestre et parvenir à l'altitude où les orages se forment. En percutant les molécules de l'air, ces protons engendreraient en cascade une gerbe d'électrons, suffisante pour amorcer un éclair.

Pour vérifier cette hypothèse, Ch. Scott et ses collègues ont comparé la fréquence des éclairs dans une région de 500 kilomètres de rayon au-dessus de l'Angleterre entre 2000 et 2005 avec les pics d'émission de vent solaire rapide, donc énergétique, mesurés sur la période par le satellite ACE de la

NASA (ces pics sont au nombre de 532).

L'analyse révèle une augmentation notable de la fréquence des éclairs dans les 40 jours qui suivent l'arrivée de vent solaire rapide (422 éclairs par jour en moyenne, contre 321 avant), et ce indépendamment des variations saisonnières.

Si ce lien s'avérait, on pourrait à terme prévoir le risque d'éclairs en fonction de la météo solaire.

Philippe Ribeau-Gésippe

C. J. Scott et al., *Environ. Research Letters*, vol. 9(5), 055004, 2014

Houle contre banquise

La houle engendrée par les tempêtes disloque la banquise jusqu'à plus de 100 kilomètres du bord, bien plus loin qu'on ne le pensait. C'est ce qu'affirment Alison Kohout et ses collègues. Cette équipe néo-zélandaise a comparé les positions du bord de la banquise antarctique et les variations de la hauteur de houle dans l'océan Austral entre 1997 et 2009. Pour une houle de plus de trois mètres, l'amortissement serait proportionnel à la distance, et non exponentiel comme prévu.

Dilemme de diptère

Comme les humains, les mouches délibèrent avant d'effectuer un jugement perceptif : elles pèsent les décisions difficiles plus longuement que les autres. C'est ce qu'ont montré Shamik DasGupta et ses collègues, à l'Université d'Oxford, en incitant des drosophiles à choisir entre plusieurs odeurs. Ils ont également observé qu'une mutation du gène *FoxP*, dont les gènes homologues chez l'homme sont liés au développement cognitif et à la prise de décision, provoquait de l'indécision chez les mouches.

Des nucléotides artificiels

L'équipe de Floyd Romesberg, à l'Institut de recherche Scripps, aux États-Unis, est parvenue à ajouter une nouvelle paire de bases dans l'ADN d'une bactérie. En sus des nucléotides usuels A, T, G et C, l'alphabet génétique de cet organisme semi-synthétique a ainsi été enrichi de deux nouvelles lettres, X et Y. Les biologistes ont montré que si ces nucléotides artificiels ne codent (encore) rien, ils sont répliqués par la bactérie lors de sa division et se transmettent de façon stable au fil des générations. Une prouesse qui marque une étape de plus pour la biologie de synthèse.

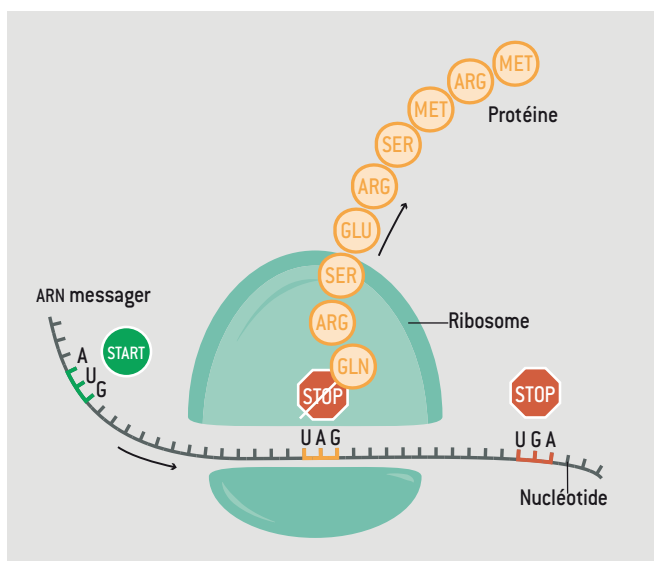
Microbiologie

Des micro-organismes se jouent du code génétique

Une étude métagénomique a montré que de nombreux micro-organismes réinterprètent les instructions « stop » du code génétique, lequel se révèle moins universel qu'on ne le pensait.



Le décodage d'un gène (ci-dessus un exemple de séquence d'ADN) s'effectue grâce à la traduction de son ARN messager en protéine, qui commence au codon start et s'interrompt lorsqu'un codon stop est rencontré. Dans l'exemple de codage alternatif ci-contre, le codon stop UAG (ou *ambre*) est réassigné : il n'est pas interprété comme une instruction d'arrêt, mais code l'acide aminé glutamine, qui sera incorporé à la protéine en cours de synthèse.



Pour la Science

99

pour cent

des micro-organismes ne sont pas cultivables en laboratoire. L'analyse génomique de cette « matière noire microbienne » ne fait que commencer.

Depuis sa découverte dans les années 1960, le code génétique est en général considéré comme commun à tous les organismes. Même si des exceptions ont depuis été découvertes – dans les mitochondries et chez quelques organismes unicellulaires comme les ciliés –, il est encore largement admis qu'elles ne constituent que des variations sur un thème universel.

Selon Natalia Ivanova et ses collègues du Joint Genome Institute (JGI), un centre de séquençage près de San Francisco, ces modifications sont pourtant plus fréquentes que prévu. En analysant les métagénomes de près de 1800 échantillons, ces chercheurs ont trouvé qu'un nombre notable de séquences correspondent à un code génétique modifié, notamment chez les bactéries d'eau douce ou issues de prélèvements chez l'homme.

Le code génétique établit la correspondance entre les triplets de nucléotides – ou codons – et les acides aminés, les constituants des protéines. Parmi les 64 codons

existants, certains signalent la fin du gène lors de sa traduction : ce sont les trois codons *stop* dénommés *ambre*, *opale* et *ocré*. Le codage alternatif identifié par les chercheurs repose sur la réassignation d'un ou plusieurs de ces codons *stop*, qui codent alors non pas une instruction d'arrêt, mais un acide aminé.

N. Ivanova et ses collègues ont aussi détecté plusieurs de ces codages alternatifs chez des phages, ou virus de bactérie. Chez un phage issu d'un prélèvement lingual chez l'homme, ils ont montré l'existence d'une stratégie d'infection inédite, surnommée « guerre des codons ». Le phage, où le codon *ambre* est réassigné, s'attaque à une bactérie qui réassigne le codon *opale*. En exprimant une protéine qui force l'interprétation d'*opale* comme un codon *stop* classique, il perturbe l'expression des gènes de son hôte et favorise son propre codage alternatif.

« Ce mode d'infection fondé sur la manipulation du code génétique est tout à fait original et inattendu », commente Jean

Deutsch, professeur émérite à l'Université Pierre et Marie Curie. Pour Eddy Rubin, coauteur de l'étude et directeur du JGI, cette découverte bouscule la conception, jusque-là dominante, selon laquelle virus et hôtes doivent partager le même code génétique.

Récemment, des chercheurs américains ont proposé d'utiliser le recodage des codons *stop* pour empêcher le transfert d'information génétique des bactéries génétiquement modifiées à leur environnement. Mais cette idée semble mise à mal. « La réassignation de codons *stop* ne constitue pas un pare-feu étanche », indique Volker Döring, qui travaille à la mise au point d'organismes synthétiques au Genoscope d'Évry. « Même lorsque le codage est classique, l'arrêt de la traduction est un processus qui n'est pas totalement déterministe. Pour empêcher la contamination, l'incorporation de bases artificielles à l'alphabet génétique est une piste plus prometteuse. »

Yvan Pandelé

Science, en ligne le 22 mai 2014

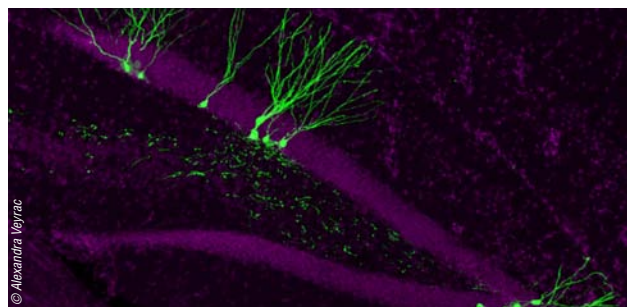
Neurobiologie

Pourquoi oublie-t-on ses souvenirs d'enfance ?

Vous souvenez-vous de vos premiers pas ? Sans doute pas. Comme de nombreux animaux, l'homme oublie presque tout de son vécu infantile. Selon une étude réalisée sur des rongeurs par Katherine Akers et ses collègues de l'Hôpital pour les enfants malades, à Toronto, cet oubli résulte en partie de la formation importante de nouveaux neurones (ou neurogenèse) pendant l'enfance, en particulier dans l'hippocampe, une aire cérébrale essentielle à la mémorisation.

Dans le cerveau, un souvenir est codé par un réseau de connexions neuronales renforcées ou affaiblies. Dès lors, la formation de nouveaux neurones, qui établissent des connexions avec les anciens, risque de perturber les réseaux existants. Ainsi, des simulations sur ordinateur suggèrent qu'elle efface certains souvenirs.

C'est cette hypothèse qu'ont testée les neurobiologistes à travers une série d'expériences. Ils ont fait mémoriser une « peur liée au contexte » à des rongeurs en leur administrant un léger choc élec-



De nouveaux neurones (en vert, ici chez la souris adulte) s'intègrent tous les jours dans le gyrus denté de l'hippocampe (partie violette en forme de V inclinée). Ils favorisent la formation de nouveaux souvenirs, mais aussi l'oubli des anciens en perturbant les réseaux préexistants.

trique à la patte en présence d'un certain décor. Certains animaux fabriquaient plus de nouveaux neurones que d'autres, pour diverses raisons : soit ils étaient plus jeunes, soit la neurogenèse était stimulée par un exercice physique ou des substances pharmacologiques, soit les espèces différaient. Les chercheurs ont alors constaté que plus la neurogenèse est importante, plus les rongeurs oublient vite la peur conditionnée.

Cependant, selon Alexandra Veyrac, du Centre de recherche

en neurosciences de Lyon et du Centre de neurosciences Paris-Sud, le lien entre neurogenèse et oubli doit être étudié plus avant : des expériences chez les rongeurs montrent que ces derniers se souviennent toute leur vie d'odeurs apprises dès le plus jeune âge, alors que le bulbe olfactif (qui intervient dans la mémorisation des odeurs) est aussi le siège d'une neurogenèse après la naissance.

Guillaume Jacquemont

K. Akers et al., *Science*, en ligne le 8 mai 2014

L'œil de Jupiter se ferme

La grande tache rouge de Jupiter, cet anticyclone géant visible à la surface de la planète, serait en train de fondre à vue d'œil. Lorsqu'on l'a observé pour la première fois, à la fin du XVIII^e siècle, l'« œil de Jupiter » faisait plus de 40 000 kilomètres de diamètre. D'après les données du télescope spatial *Hubble*, il ne mesure plus aujourd'hui que 16 000 kilomètres. On ignore la cause de ce rétrécissement, mais, au rythme actuel, Jupiter pourrait perdre son œil d'ici 2030.

Troubles en eaux froides

Selon les chercheurs américains Whitman Miller et Gregory Ruiz, le risque de transport d'espèces invasives des régions froides augmente avec la fonte de la banquise arctique. Des passages entre les océans Atlantique et Pacifique s'ouvrent en effet par le Nord, et des animaux s'accrochent aux coques des navires ou sont présents dans les eaux de ballast. Jusqu'à présent, le passage par les eaux chaudes des canaux de Suez ou de Panama limitait la survie de ces espèces et leur diffusion.

Archéologie

La première farine de Guédelon

De l'eau qui court, deux roues de bois, un engrenage, une tige de fer, deux quintaux de pierre, et à la fin une machine moins puissante qu'un sèche-cheveux : une équipe du projet d'archéologie médiévale expérimentale de Guédelon, en Bourgogne, vient de reconstruire à l'identique un moulin médiéval retrouvé quasi intact.

En 2007, au cours des fouilles qui précèdent la construction de la ligne à grande vitesse Dijon-Mulhouse, une équipe de l'INRAP dirigée par Gilles Rollier découvre un moulin du VIII^e siècle. Ses 189 pièces, c'est-à-dire presque toutes, sont bien conservées dans

les terres saturées d'eau d'un ancien chenal. Pierre Mille, qui a participé à la fouille, vient d'aider les charpentiers de Guédelon à reproduire le moulin. Installé sous une petite maisonnette comportant un étage où tournera la meule, son mécanisme comprend essentiellement six pièces : une roue à 28 aubes, solidaire de l'arbre de couche (un axe couché), lui-même solidaire du rouet (roue dentée), dont les dents s'engrènent entre les barreaux de bois d'une lanterne (engrenage) pour la faire tourner, et, avec elle, l'axe de fer qui entraîne la meule. Le coursier, un canal de bois légèrement pentu, amène l'eau à la roue hydraulique.

Le moulin produit aujourd'hui de la farine d'épeautre, mais les frottements qui accompagnent sa marche font branler la maisonnette qui l'abrite ! La meule accomplit 25 tours par minute, de sorte qu'une longue mise au point sera nécessaire pour obtenir les 40 souhaités. Les calculs montrent que la puissance de la machine ne dépasse pas un kilowatt. Pourtant, ses pales faites de planches et de tenons, plus larges que les pales d'une seule pièce de bois des moulins du Haut Moyen Âge, trahissent une volonté de puissance !

F. S.

www.guedelon.fr

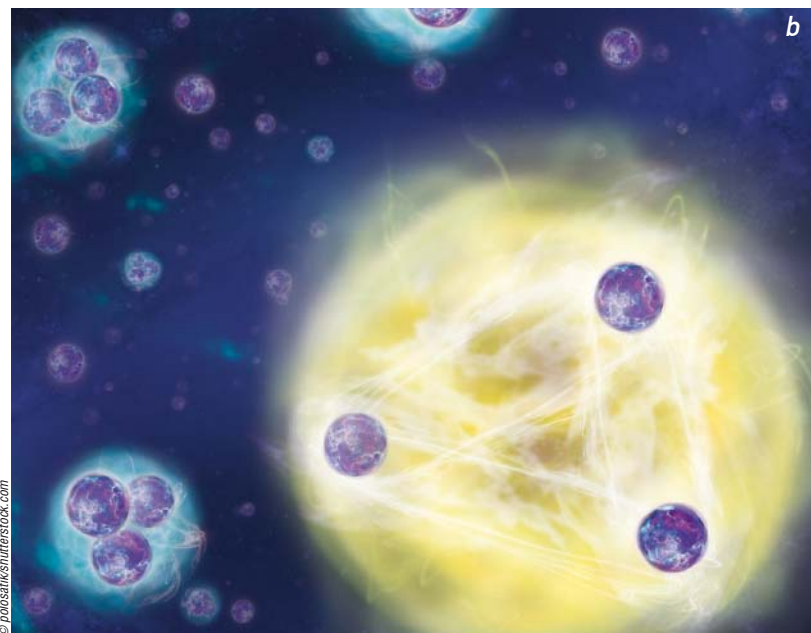
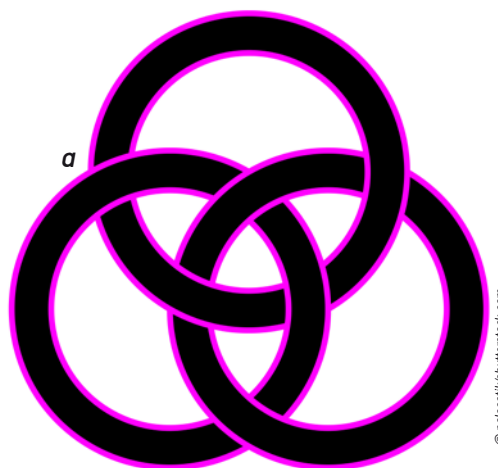


Le mécanisme du moulin, avec notamment sa roue à aubes (premier plan) et sa meule (dans une caisse à l'étage) sous une trémie pleine de grain.

Physique

Des systèmes triatomiques géants

Les « états d'Efimov » correspondent à des systèmes où trois atomes identiques sont liés. Certaines de leurs propriétés viennent d'être confirmées par l'expérience.



On compare souvent les états d'Efimov aux anneaux borroméens (a). Ces trois cercles enlacés figurent sur les armoiries d'une puissante famille italienne du XV^e siècle, les Borromeo, d'où leur nom. Si l'on ôte un anneau, les deux autres ne sont plus liés. Il en va de même des atomes dans les états d'Efimov : le système n'est lié que parce que trois atomes sont en présence. La vue d'artiste (b) représente l'état fondamental (à gauche) et le premier état excité (à droite).

Lorsque deux atomes identiques ne s'attirent pas assez pour se lier, la venue d'un troisième atome peut créer un trio stable. Ce phénomène d'origine quantique a été prédit par le physicien russe Vitaly Efimov en 1970. Il fallut attendre 2006 pour que le premier état d'Efimov soit observé, grâce aux progrès dans le domaine des atomes ultrafroids. Mais parmi les propriétés que le théoricien avait prévues, il restait à montrer que les systèmes triatomiques de ce type existent dans des états excités. Découvreur du premier état d'Efimov, Rudolf Grimm, de l'Université d'Innsbruck, et son équipe ont maintenant mis en évidence le premier état excité d'Efimov et confirmé certaines de ses caractéristiques.

La difficulté expérimentale est grande. La formation d'états d'Efimov exige que la probabilité de collision entre particules soit importante à basse énergie – une situation nommée résonance de Feshbach. Une fois les trimères formés, ils restent très fragiles : l'énergie de liaison est si faible que le trio peut se dissocier

facilement. En 2006, R. Grimm et ses collègues avaient utilisé des atomes de césium à quelques centaines de nanokelvins pour former des trimères dans l'état d'Efimov fondamental, dont la taille est d'environ 50 nanomètres.

D'après la théorie de V. Efimov, le premier état excité a la même forme que l'état fondamental, mais sa taille est multipliée par un facteur d'environ 22,7. Pour le césium, cela implique un premier état excité ayant une taille de l'ordre d'un micromètre, soit la taille d'une bactérie. Mais l'énergie de liaison entre les atomes étant divisée par le même facteur élevé au carré, il fallait abaisser la température à quelques nanokelvins pour espérer l'observer.

R. Grimm et son équipe ont ainsi utilisé un ensemble de 30 000 atomes de césium refroidis à 7 nanokelvins et maintenus dans un piège magnétique. Ils ont ensuite fait varier le champ magnétique afin de se rapprocher continûment des conditions de la résonance de Feshbach et de faire ainsi apparaître des états d'Efimov. Lorsqu'on est au seuil de l'apparition de tels états, la

probabilité de trouver trois atomes proches dans le gaz augmente fortement, ce qui augmente les chances de collisions à trois corps. Or ces collisions confèrent parfois une grande vitesse à certains des atomes, qui s'échappent alors du piège. La formation d'états d'Efimov s'accompagne donc d'un pic de fuite d'atomes. En notant pour quelle valeur du champ magnétique ce pic se produit, les physiciens ont déduit les caractéristiques du premier état excité d'Efimov. Ils trouvent que le trimère correspondant a une taille 21 fois supérieure à celle du trimère dans l'état fondamental, un résultat en accord avec les prévisions théoriques compte tenu des incertitudes de mesure.

La théorie d'Efimov serait universelle et permettrait par exemple de décrire le noyau de lithium 11, constitué d'un groupe compact de nucléons et de deux neutrons plus éloignés, et bien d'autres systèmes atomiques ou nucléaires.

Sean Baillly

B. Huang et al., *Phys. Rev. Lett.*, vol. 112, 190401, 2014

Astronomie

Une seconde vie pour *Kepler*

Le satellite chasseur d'exoplanètes *Kepler* est sur le point de connaître une seconde vie. Lancé en mars 2009, *Kepler* a découvert plus de 3800 candidats au titre de planète extrasolaire par la méthode des transits (qui consiste à détecter la baisse de luminosité périodique due au passage d'une planète devant son étoile), dont près d'un millier ont déjà été confirmés.

Mais en mai 2013, une deuxième des quatre roues gyroscopiques est tombée en panne, rendant impossible une stabilisation suffisante de l'instrument pour poursuivre la mission.

Les ingénieurs de la NASA ont cependant imaginé un moyen de tirer parti du télescope diminué : positionné parallèlement à la direction de son orbite autour du Soleil, le vaisseau sera équilibré selon un axe grâce à la pression exercée par... la lumière du Soleil ! Avec les deux gyroscopes restants, il pourra alors pointer un nouveau champ.

La sensibilité (300 parties par million) et le nombre d'étoiles observées (10 à 20 000) seront certes dix fois inférieurs à ce qu'ils étaient auparavant, et les plages d'observation en continu ne dépasseront pas 80 jours, mais cette nouvelle mission, nommée K2, devrait permettre à *Kepler* de continuer à découvrir des exoplanètes. Elle vient d'être approuvée pour deux ans.

Ph. R.-G.

<http://keplerscience.arc.nasa.gov/K2/>

Insolite

Une Vénus accroupie

La volage Vénus a trompé Vulcain avec Mars et se cache. Elle est dénoncée par une vieille femme, que la déesse courroucée pétrifie... Or les archéologues de l'INRAP viennent de mettre au jour à Pont-Sainte-Maxence, dans l'Oise, le visage pétrifié de la délatrice. Il figurait sur la frise écroulée d'un vaste temple gallo-romain du II^e siècle, fouillé en urgence avant l'érection d'un temple de la consommation (un supermarché). À ses côtés, la déesse est accroupie... et se cache encore !



Denis Gilks/INRAP

Techniques médicales

Une biopile inusable

Une pile fonctionnant au glucose, susceptible d'alimenter divers dispositifs médicaux implantables, a été sélectionnée par l'Office européen des brevets pour la finale du Prix de l'inventeur européen. Philippe Cinquin nous présente l'appareil, fruit de la collaboration entre son laboratoire et celui de Serge Cosnier, tous deux rattachés à l'Université Joseph Fourier et au CNRS.

Comment fonctionne votre biopile ?

Philippe Cinquin : C'est une pile à combustible, comme une pile à hydrogène, sauf que le carburant est ici le glucose présent dans l'organisme (dans le liquide extracellulaire ou le sang). Elle comporte deux électrodes, obtenues par compression d'enzymes et de matériau conducteur. Des électrons sont arrachés au glucose par les enzymes de l'anode, puis ils circulent dans un fil conducteur et traversent le dispositif à alimenter, avant de réduire l'oxygène en eau au contact de l'autre électrode.

Les électrodes sont encapsulées dans deux membranes semi-perméables. La première évite la fuite des enzymes et laisse entrer les molécules de glucose (bien plus petites). La seconde (en dacron, tissu synthétique utilisé pour les prothèses vasculaires) vise à éviter les réactions d'inflammation.

Quelles applications sont envisagées ?

Ph. C. : La biopile pourrait alimenter tous les dispositifs médicaux implantables : stimulateurs cardiaques ou cérébraux (utilisés par exemple dans le traitement de la maladie de Parkinson), pompes à insuline pour les diabétiques, etc. Le nombre de patients potentiels est considérable.

Aujourd'hui, on doit remplacer les batteries de ces dispositifs tous les sept ou huit ans. Notre biopile pourrait en théorie fonctionner toute la vie du patient, car le glucose et l'oxygène sont constamment renouvelés dans l'organisme. Cela éviterait des opérations chirurgicales, en particulier avec les dispositifs multiples aujourd'hui à l'étude : les nouveaux stimulateurs cardiaques

de l'entreprise *Sorin*, partenaire du projet, pourraient être implantées en plusieurs endroits du cœur pour traiter certaines insuffisances cardiaques. L'intérêt sera aussi accru pour divers dispositifs en développement, plus gourmands en énergie (et qui épuiserait vite les piles classiques), tels le sphincter urinaire artificiel et robotisé de la jeune pousse *Uromems* ou des reins artificiels implantables...

Cette biopile sera-t-elle bientôt disponible ?

Ph. C. : Les essais chez l'homme pourraient débuter d'ici trois à cinq ans. Nous avons déjà implan-



Ph. Cinquin dirige le laboratoire TIMC-IMAG (UJF/CNRS).

té la biopile chez des rats et des lapins. Des essais sont prévus sur des brebis et des vaches, où elle alimentera divers instruments de mesures physiologiques conçus par l'entreprise *Biopic*. Le premier marché sera d'ailleurs sans doute celui de la santé animale. Les tests sur des animaux permettront de valider la fiabilité et l'innocuité de l'appareil, avant de passer à l'homme. Parallèlement, l'amélioration de la biopile se poursuit, en collaboration avec des laboratoires tels que le LGP2 et le CEA-LETI, afin notamment d'augmenter sa puissance ou de diminuer sa taille.

G. J.

www.ibfc.fr

Éthologie

Des oiseaux déboussolés

Les oiseaux migrateurs s'orientent notamment grâce au champ magnétique terrestre. Svenja Engels, de l'Université d'Oldenburg, en Allemagne, et ses collègues ont montré qu'en zone urbaine, les émissions électromagnétiques d'origine humaine désorientent au moins certains d'entre eux (les rouges-gorges *Erithacus rubecula*).

Au moyen d'observations réalisées en laboratoire, les éthologistes ont constaté qu'au printemps et à l'automne, les oiseaux décollaient dans une direction aléatoire et non vers leur lieu de migration. Quand le bruit électromagnétique était bloqué par des écrans en aluminium, les rouges-gorges s'orientaient correctement. Quand un bruit électromagnétique artificiel imitait les émissions anthropiques, ils étaient à nouveau désorientés. Les fréquences composant ce bruit suggèrent que les émissions perturbatrices sont celles des radios AM et des appareils électroniques usuels.

G. J.

S. Engels et al., *Nature*, en ligne le 7 mai 2014

Astrophysique

Étoiles dévoreuses de Terres

On est ce que l'on mange. Cette maxime s'applique aussi aux étoiles ! Avec ses collègues, Claude Mack, de l'Université Vanderbilt aux États-Unis, a découvert des indices que certaines étoiles ont avalé des planètes rocheuses de type terrestre.

L'analyse du spectre lumineux de l'étoile permet de retracer sa composition chimique élément par élément. L'abondance de certains éléments, tels l'aluminium ou le fer, indiquerait la quantité de matière rocheuse tombée sur l'étoile. Cette matière proviendrait de planètes poussées trop près de l'étoile par des planètes géantes gazeuses ayant migré depuis la périphérie du système.

Les astrophysiciens ont appliqué la méthode à un système binaire où des planètes géantes gravitent autour des deux étoiles HD 20781 et HD 20782. Ces dernières semblent avoir englouti respectivement l'équivalent de 10 et 20 Terres. Il y aurait alors peu de chance que le système abrite encore des planètes rocheuses.

G. J.

C. E. Mack III et al., *The Astrophysical Journal*, en ligne le 7 mai 2014

Énergétique

Des éoliennes à rebours

Pour améliorer le rendement d'un parc éolien, des chercheurs préconisent de faire tourner les éoliennes qui se succèdent dans des directions contraires.

Dans les parcs éoliens, les turbines directement exposées au vent extraient plus d'énergie que les autres. En effet, une éolienne perturbe l'écoulement de l'air dans son sillage, où se crée une zone de turbulences et de ralentissement qui pénalise le rendement global (jusqu'à 30 pour cent pour des parcs d'éoliennes en mer). À l'échelle d'un pays, l'impact est donc considérable.

Une solution originale pour tenter de limiter ce phénomène est d'utiliser un système d'éoliennes contrarotatives. Le sillage d'une turbine formant un tourbillon de sens opposé à la rotation des pales, l'idée est de récupérer davantage

d'énergie en imposant à l'éolienne située en aval le même sens de rotation que ce tourbillon.

Wei Yuan et ses collègues, de l'Université de l'État de l'Iowa, ont évalué l'efficacité d'un tel système en soufflerie. Résultat : lorsque l'écart entre deux éoliennes est faible – de l'ordre d'un diamètre de rotor – l'éolienne placée à l'arrière extrait 20 pour cent d'énergie en plus si elle tourne dans le sens opposé.

Le gain ainsi réalisé décroît rapidement avec l'écart entre éoliennes. Inapplicable aux parcs éoliens en mer, très étalés, une telle solution pourrait se révéler productive pour les parcs éoliens installés sur la terre ferme, où l'espacement entre les turbines est plus réduit.

Y. P.

Science China Phys., Mech. & Astron., vol. 57(5), pp. 935-949, 2014



Une éolienne diminue le rendement de celle placée dans son sillage. Les faire tourner en sens inverses améliorerait la situation.

Des vagues titanesques

Titan, une lune de Saturne, abrite des nuages, de la pluie, des lacs d'hydrocarbures... et désormais des vagues. L'équipe de Jason Barnes, de l'Université de l'Idaho, a en effet observé dans les images de la sonde *Cassini* une réflexion anormale de la lumière solaire en provenance d'une région nommée Punga Mare, qui s'expliquerait par la présence de vagues hautes de... deux centimètres. Ces vagues confirmeraient que les « lacs » de Titan ont bien une certaine profondeur et ne sont pas juste des sols humides.

Le silence des criquets

Les criquets *Teleogryllus oceanicus* des îles de Hawaï sont victimes d'un parasite, la mouche *Ormia ochracea*, qui est attirée par leur bruit. En 2001, une mutation de la forme des ailes est apparue et a rendu silencieux certains criquets de l'île Kauai. En deux ans, la mutation s'est imposée. Nathan Bailey, de l'Université Saint Andrews au Royaume-Uni, et son équipe ont montré que les criquets de l'île Oahu sont devenus à leur tour silencieux, mais à cause d'une mutation différente – un exemple de convergence évolutive !

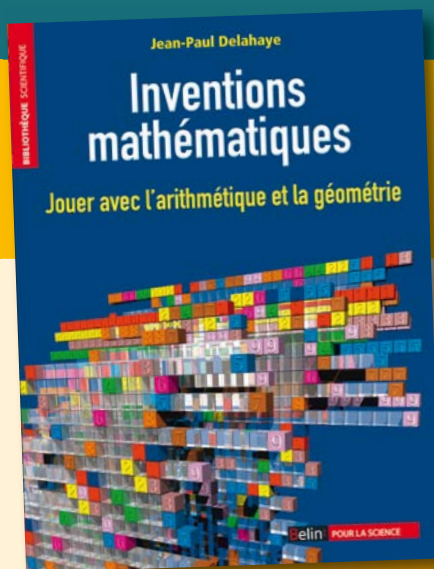
Des ouragans féminins plus meurtriers

Pour désigner les ouragans, les météorologistes leur attribuent un prénom, alternativement masculin et féminin. Kiju Jung, de l'Université de l'Illinois, et ses collègues ont remarqué que ceux qui portent un prénom féminin causent plus de décès. Selon les chercheurs, la population serait moins effrayée par ces prénoms et prendrait moins de précautions...

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

L'univers mathématique

de Jean-Paul Delahaye



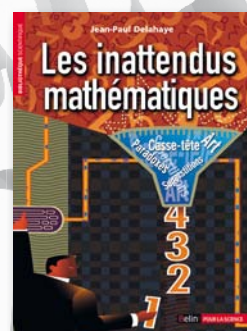
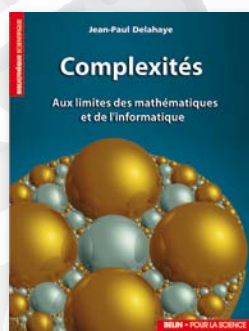
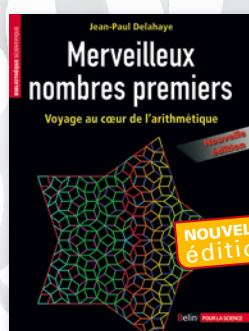
NOUVEAU !

Inventions mathématiques

Jouer avec l'arithmétique
et la géométrie

Les mathématiques sont vivantes et l'imagination des chercheurs et des amateurs n'est jamais en repos. Sans cesse, de nouvelles idées conduisent à des inventions qui réjouissent, étonnent et instruisent. Dans ce livre, vous trouverez des figures paradoxales, des jeux classiques comme le Tangram et le cube de Rubik, des problèmes du quotidien tels le découpage d'une pizza ou l'accrochage d'un tableau, des énigmes élémentaires ou complexes, ou encore des images grises où la cryptographie cache des visages et des animaux. Vous serez étonné... à chaque page !

À l'occasion de la parution de son nouveau livre **Inventions Mathématiques**, redécouvrez l'ensemble de ses ouvrages parus dans la collection Bibliothèque scientifique.



**Retrouvez
Jean-Paul Delahaye
chaque mois**

dans la rubrique
"Logique et calcul"
de *Pour la Science* !

Jean-Paul Delahaye est professeur d'informatique à l'Université des sciences et technologies de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale du CNRS, à Lille.

POINT DE VUE

Pour une économie morale des gènes

Aux États-Unis, un jugement récent a décidé que les gènes non modifiés par l'homme ne sont pas brevetables. Pour des raisons qui tiennent tant à l'économie qu'à l'éthique, l'Europe devrait elle aussi revenir sur sa position autorisant la brevetabilité des gènes.

Maurice Cassier

En juin 2013, huit des neuf juges de la Cour suprême des États-Unis décidaient que les gènes isolés de leur environnement naturel ne sont pas brevetables. Ce faisant, la Cour remettait en question 30 années de pratique de l'Office américain des brevets, issus de la recherche privée ou de la recherche publique, au point qu'on estime qu'aujourd'hui 5 000 gènes humains (soit 1/5 du total) ont été soumis à des brevets. Ce jugement suivait la position du Gouvernement des États-Unis, publiée en octobre 2010 et pour qui les gènes isolés par des biologistes, et n'ayant subi aucune modification, ne sont pas brevetables, tandis que les gènes modifiés en laboratoire, les séquences d'ADN complémentaire construites par les chercheurs, peuvent l'être. Il s'agissait bien d'une révision fondamentale de la politique des brevets des gènes suivie jusqu'alors aux États-Unis.

D'où vient un tel revirement ? Qu'en est-il de la situation européenne ? Il apparaît une singulière asymétrie, entre les États-Unis, où les gènes naturels sont dans le domaine public, et la France et l'Europe, où ils demeurent appropriables par brevet. De surcroît, la question de la brevetabilité des gènes, qui a agité la communauté médicale européenne il y a quelques années, inquiète aujourd'hui celle des semenciers et des agriculteurs.

La décision américaine de 2013 clôturait un procès de plusieurs plaignants contre les Laboratoires *Myriad* qui commercialisaient

un test de dépistage des gènes BRCA1 et BRCA2 de prédisposition au cancer du sein. Ces gènes ont été séquencés en 1994, et plusieurs brevets pour des tests de dépistage ont été déposés par divers laboratoires privés, tel *Myriad*, mais aussi publics. Ainsi, entre 1994 et 1998, des tests ont été proposés aux Américaines, avant même l'obtention des brevets. Mais, en 1998, ce sont les Laboratoires *Myriad* qui ont décroché le brevet, face à tous leurs concurrents, s'imposant sur le marché nord-américain du dépistage de la prédisposition au cancer du sein.

LE PARLEMENT ET LE CONSEIL EUROPÉENS devraient placer les entités biologiques et les gènes simplement isolés de leur environnement dans le domaine commun de la science et de l'innovation.

Lors du procès de 2013, les grandes associations de patients et de médecins ont fait valoir que les brevets de gènes, compte tenu de l'étendue du monopole qu'ils autorisaient, étaient susceptibles de contrarier l'éthique médicale : des généticiens pourraient être sommés par ceux qui détenaient les brevets de cesser de proposer leurs tests sous peine d'être poursuivis pour contrefaçon. Les associations de patientes ont soutenu que de tels brevets, qui empêchent une libre concurrence, renchérissent les tests génétiques, lesquels deviennent inabordables pour les femmes aux revenus modestes.

La récente décision de la Cour suprême a changé la donne, puisque tous les gènes isolés en laboratoire sont tombés dans le

domaine public, si bien que tout laboratoire clinique ou entreprise peut les utiliser librement pour développer des tests génétiques ou des technologies médicales.

L'invalidation des brevets de gènes par la Cour suprême reposerait sur des justifications qui tiennent à l'économie de l'innovation et à une morale de la non-appropriation des « produits de la nature », inscrite dans la jurisprudence des brevets depuis plus d'un siècle aux États-Unis. Il existerait deux types de gènes : les gènes « simplement isolés » de la nature, qui ne doivent pas être brevetés,

et les gènes « construits en laboratoire » qui pourraient l'être. Ainsi, le jugement de la Cour suprême a restauré une conception du droit des brevets qui sépare les produits de la nature, considérés

comme un bien commun, et les produits créés par l'homme, sur lesquels on peut instaurer un monopole temporaire. C'était notamment la position de John Locke, philosophe anglais du XVII^e siècle, pour qui l'homme s'approprie les biens de la nature dès lors qu'il y mêle son travail.

En outre, par leur décision, les juges de la Cour suprême entendaient stimuler l'innovation des sociétés de biotechnologie qui testent simultanément un grand nombre de gènes et seraient entravées par la fragmentation de la propriété.

Quelle était la situation en Europe au moment où les Laboratoires *Myriad* obtenaient leur brevet ? Les aspects éthiques et économiques y étaient également au cœur