

QUI A DÉTRUIT
LA CITÉ BIBLIQUE
DE HATSOR ?

MATHÉMATIQUES

Est-il vrai que
 $0,999\,999\,999... = 1$?

PALÉONTOLOGIE

L'oiseau géant que
l'on croyait carnivore



■ POUR LA

SCIENCE

Août 2016 - n° 466

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American

La turbulente histoire de la Lune

Nouvelles découvertes
sur la collision Terre-Théia

M 02687 - 466 - F: 6,50 € - RD



30

30 ans
Cité

MENTAL DÉSORDRE *

* MENTAL DÉSORDRE

Changez de regard sur les troubles psychiques

Exposition du 5 avril au 28 août 2016 M Porte de la Villette



en co-production avec :



PAVILHÃO DO
CONHECIMENTO
CIÊNCIA VIVA

avec la collaboration de :



avec le soutien de :



en partenariat avec :



POUR LA SCIENCE

www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions : Cécile Lestienne

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

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe, assisté d'Alice Mastracci et William Rowe-Pirra

Directrice artistique : Céline Lapert

Maquette : Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, assistés de Cassandra Vion

Correction et assistance administrative : Anne-Rozenn Jouble

Marketing & diffusion : Laurence Hay et Ophélie Maillet, assistées de Marie Chaudy

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Anciens directeurs de la rédaction :

Françoise Pétry et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique : Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Maud Bruguère, Roland Chapuis, Virginie Faramaz, Carlos Martin, Daniel Tacquenot, Michel Ugon

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr - 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jf.guillotin@pourlascience.fr)

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

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne : <http://boutique.pourlascience.fr>

Courriel : pourlascience@abopress.fr

Téléphone : 03 67 07 98 17

Adresse postale : Service des abonnements - Pour la Science, 19 rue de l'Industrie, BP 90053, 67402 Illkirch Cedex

Tarifs d'abonnement 1 an - 12 numéros

France métropolitaine : 59 euros - Europe : 71 euros

Reste du monde : 85,25 euros

COMMANDES DE LIVRES OU DE MAGAZINES

Pour la Science,

628 avenue du Grain d'Or, 41350 Vineuil

pourlasciencevpc@daud.in • Tél. : 02 18 54 12 64

DIFFUSION

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tél. : 04 88 15 12 41

Information/modification de service/réassort :

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief : Mariette DiChristina.

Executive editor : Fred Guterl. Design director : Michael Mrak.

Managing editor : Ricky Rusting. Senior editors : Mark Fischetti,

Seth Fletcher, Christine Gorman, Michael Moyer, Clara Moskowitz,

Gary Stix, Kate Wong.

President : Dean Sanderson. 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).



Maurice Mashaal
rédacteur en chef

Selenexit

Certains mots étant à la mode, profitons-en pour jouer avec... La nuit du 17 ou du 18 août, levez les yeux vers le ciel. Si les nuages vous le permettent, vous verrez la Lune dans toute sa splendeur. Et si vous êtes d'humeur à méditer, vous vous demanderez peut-être ce que fait là ce corps céleste qui, de concert avec l'astre du jour, rythme la vie des humains et de nombreux autres animaux depuis la nuit des temps.

À ces interrogations, les mythologies ont proposé des réponses plus ou moins farfelues et poétiques. La plutôt sympathique mythologie grecque voyait ainsi en Séléné – sœur d'Hélios et fille des Titans Hypérion et Théia – la personnification de la Lune. Pour imaginaires qu'elles soient, les légendes grecques auront au moins marqué le vocabulaire de l'astronomie. En particulier, Théia est le nom donné à une planète ancienne dont l'existence supposée vient à la rescousse des spécialistes de l'origine de la Lune.

Théia est la mère de Séléné, mais le père géologique n'est pas Hypérion

Il y a quelque 4,5 milliards d'années, lors de la naissance du Système solaire, l'hypothétique Théia aurait percuté la Terre. Et les débris éjectés par cette collision cataclysmique se seraient agglomérés en un nouveau corps : la Lune. Ce scénario d'« exit » de la matrice terrestre, les astronomes l'ont voté proposé dès 1974. Il résiste bien à l'examen, et même de mieux en mieux. Comme nous l'explique le planétologue Matthieu Laneuville (voir pages 26 à 35), de récentes observations et analyses d'échantillons lunaires rapportés par les missions *Apollo* et *Luna* révèlent les modalités de ce « Selenexit ». Elles dévoilent aussi plusieurs épisodes de l'histoire ultérieure de notre satellite naturel – une histoire tumultueuse dont la Lune porte encore les stigmates, malgré ses airs de douce endormie. ■

3 **Édito**

Actualités

- 8 **Séquestrer de façon sûre et rapide du gaz carbonique**



- 9 **Tuerie de Parisiens néolithiques en Alsace**

- 10 **Un anticorps contre Zika et la dengue**

- 11 **Comment la langue du caméléon colle à sa proie**



- 13 **L'atmosphère de Jupiter observée en profondeur**

- 14 **L'anorexie, nouvelle addiction ?**

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 18 **Entretien**
Science participative au Cern : « Il ne s'agit pas pour nous de faire une bonne action »
Claire Adam-Bourdarios

- 22 **Cabinet de curiosités sociologiques**
La foule est-elle intelligente ?
Gérald Bronner

- 24 **Homo sapiens informaticus**
Le dilemme moral de la voiture autonome
Gilles Dowek

Ce numéro comporte un encart d'abonnement broché et un encart d'abonnement jeté en cahier intérieur sur la diffusion kiosque en France.
En couverture : © Shutterstock.com/3DMaestro

26 **PLANÉTOLOGIE** **La Lune, une histoire pleine de surprises**

Matthieu Laneuville

Comment s'est formée la Lune ? Les dernières découvertes montrent que l'histoire de notre satellite naturel est bien plus étonnante qu'on ne le pensait : intense champ magnétique primordial, volcanisme encore récent, basculement de l'axe... Le passé de notre compagnon céleste est à revoir.



36 **PALÉONTOLOGIE** **Gastornis, l'oiseau carnivore devenu végétarien**

D. Angst, E. Buffetaut, Ch. Lécuyer et R. Amiot

Gastornis ? Un oiseau géant au bec puissant qui dévorait les mammifères à l'aube du Tertiaire, a-t-on longtemps pensé. Erreur : le colosse était herbivore.



46 **TECHNOLOGIE** **Les voitures en quête d'autonomie**

Steven Shladover

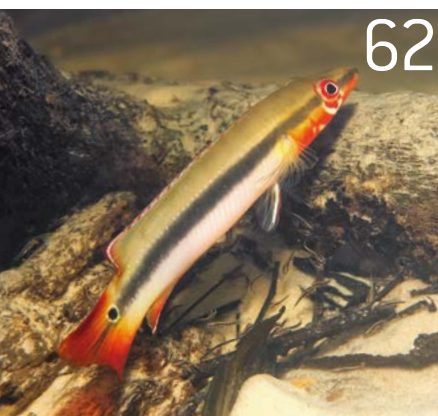
L'automatisation complète des véhicules n'est pas pour demain. En revanche, la conduite automatisée dans des lieux et voies équipés à cet effet sera bientôt une réalité.



52 **ARCHÉOLOGIE** Qui a détruit la cité biblique de Hatsor ?

Amnon Ben-Tor

La conquête par les Hébreux de la « Terre promise » a-t-elle vraiment eu lieu ? Les fouilles de l'ancienne Hatsor, en Israël, éclairent cette grande question de l'archéologie biblique et brossent le tableau de l'une des principales cités de la région à l'âge du Bronze.



62

PORTFOLIO Plongée dans les eaux douce de Guyane

Frédéric Melki

Comme d'autres régions tropicales, la Guyane française abrite une faune et une flore très riches. Avec près de 450 espèces, ses poissons d'eau douce forment l'un des groupes les plus diversifiés – un univers aussi spectaculaire que méconnu.

70 **HISTOIRE DES TECHNIQUES** Comment on a sécurisé la carte à puce

Jean-Jacques Quisquater et Jean-Louis Desvignes

Dans les années 1980, on s'est aperçu que la carte à puce n'était pas sans faille. Un mariage avec la cryptographie, domaine alors en pleine renaissance, s'imposait d'urgence...

Rendez-vous

78 **Logique & calcul**

Est-il vrai que $0,999... = 1$?

Jean-Paul Delahaye

Certaines approches tentent de soutenir rigoureusement que $0,999... < 1$, afin d'éviter la non-unicité des développements décimaux.

84 **Science & fiction**

Seul sur Mars, un manuel de survie

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 **Art & science**

Un jardin qui coule de source

Loïc Mangin

89 **Idées de physique**

Dompter la vague avec une planche

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



92 **Question aux experts**

Boire de l'alcool fait-il grossir ?

Bernard Schmitt

94 **Science & gastronomie**

Toxique, le pain complet ?

Hervé This

96 **À lire**

98 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

SCIENCE.fr

LETTRE D'INFORMATION



Ne manquez pas
la parution
de votre magazine
grâce à la NEWSLETTER

- Notre sélection d'articles
- Des offres préférentielles
- Nos autres magazines en kiosque



Recevez gratuitement la lettre d'information en inscrivant uniquement votre adresse mail sur www.pourlascience.fr

CREATIVE
AWARDS
2016

by SAXOPRINT

Grand Prix du Jury des Creative Awards 2016, un concours organisé avec le soutien de l'imprimeur



#FishForward

1 POISSON SUR 5 EST ISSU DE LA PÊCHE ILLÉGALE.
CETTE ACTIVITÉ MET EN PÉRIL LES OCÉANS ET LES PÊCHEURS.
IL EST URGENT D'AGIR. Protéger les océans, c'est sauver notre planète.



ENSEMBLE, NOUS SOMMES LA SOLUTION. PLUS D'INFORMATIONS SUR WWW.WWF.FR

Actualités

Géochimie

Séquestrer de façon sûre et rapide du gaz carbonique

En Islande, CarbFix, une expérimentation pilote de séquestration du dioxyde de carbone, a montré qu'une fois ce gaz injecté dans des roches basaltiques, il se transforme définitivement en roches stables en deux années seulement.



La centrale géothermique de Hellisheiði, en Islande, a servi pour l'expérimentation pilote CarbFix. Le CO₂ est injecté dans les roches basaltiques à plusieurs centaines de mètres de profondeur.

La séquestration géologique, c'est-à-dire le stockage de gaz dans des couches géologiques imperméables, fait partie des méthodes de lutte envisagées contre la hausse de la concentration atmosphérique du dioxyde de carbone (CO₂), principal responsable du réchauffement climatique planétaire. La sûreté à moyen et long termes de cette séquestration est un enjeu industriel majeur en raison du risque de fuites accidentelles. Or l'expérimentation CarbFix en Islande, dirigée par Juerg Matter, de l'université de Southampton, en Grande-Bretagne, a permis la transformation de centaines de tonnes de CO₂ en roches carbonatées inertes en seulement deux ans.

On envisage généralement la séquestration du CO₂ dans d'anciens gisements d'hydrocarbures épuisés (des poches constituées de roches étanches) ou dans des aquifères profonds, c'est-à-dire des roches fortement poreuses qui ne communiquent pas avec les aquifères de surface constituant les nappes phréatiques. On injecte alors le gaz à haute pression, sous une forme dite supercritique. Mais dans ces conditions, le risque de relargage accidentel reste présent pendant des centaines d'années, le temps nécessaire pour que le CO₂ se minéralise, c'est-à-dire s'associe à d'autres éléments et se transforme en roches stables.

Dans le cas de l'expérience CarbFix, menée en 2012, le choix

s'est porté sur une injection de CO₂ dans des roches basaltiques (issues du refroidissement rapide du magma). « Cela fait une vingtaine d'années qu'on sait que le basalte présente les caractéristiques nécessaires pour entraîner une minéralisation beaucoup plus rapide », précise Steve Peuble, chercheur au laboratoire de géologie de Lyon. Roche poreuse, ultrabasique, riche en fer, magnésium, et calcium, le basalte permet à la fois une bonne diffusion du gaz, mais aussi la réaction acido-basique qui transforme le CO₂, substance acide, en carbonates inertes et stables.

Première expérimentation menée *in situ*, CarbFix a consisté

à injecter environ 220 tonnes de gaz carbonique issues d'un site industriel voisin dans du basalte entre 400 et 800 mètres de profondeur. Afin de limiter le risque de fuite vers la surface, important en raison de la fracturation naturelle de la roche et de la faible profondeur de l'expérimentation, les scientifiques ont choisi de dissoudre le gaz dans de l'eau avant l'injection. Cela permet également d'accélérer la formation des carbonates, puisque les ions métalliques issus des roches se dissolvent aussi dans cette eau injectée et réagissent ainsi plus facilement avec le gaz carbonique.

Les besoins importants en eau limitent cette séquestration

Archéologie

Tuerie de Parisiens néolithiques en Alsace

Mains brisées, crânes défoncés, bras coupés... À Achenheim, dans la banlieue de Strasbourg, une équipe de l'Inrap a découvert une fosse remplie de restes humains témoignant d'un épisode d'une extrême violence survenu il y a plus de 6 200 ans. Philippe Lefranc, qui a dirigé les fouilles, nous présente cette macabre découverte et la commente.

essentiellement aux sites côtiers : l'eau représentant 95 % de la masse injectée lors du processus, une centrale électrique émettant annuellement 40 000 tonnes de CO₂ nécessiterait l'équivalent de près de 800 piscines olympiques. En revanche, l'eau utilisée ne devrait pas polluer l'environnement, selon Steve Peuble : « Comme le CO₂, l'eau se retrouve piégée dans le basalte, car il est surmonté par une couche de hyaloclastites, des roches imperméables. Et en cas de remontée accidentelle, elle n'est de toute façon pas polluée par le procédé. »

Deux ans après, les mesures effectuées dans le puits principal comme dans les puits de contrôle montrent qu'au moins 95 % du gaz carbonique injecté ont été convertis en roches carbonatées, dont la stabilité se compte en centaines de milliers d'années.

Pour Steve Peuble, « la quantité exacte de CO₂ ainsi séquestrable reste à déterminer. Notamment, en précipitant, le CO₂ peut réduire petit à petit les pores de la roche et finir par boucher le puits. Et une autre réaction chimique, la serpentinisation, qui crée des sortes de filaments minéraux, peut aussi contribuer à ce phénomène. Néanmoins, l'expérience CarbFix montre d'ores et déjà qu'il est aujourd'hui envisageable d'absorber les milliers de tonnes de gaz produites chaque année par les sites industriels installés à proximité de couches basaltiques. Rien qu'en Islande, les estimations de stockage sont comprises entre 2... et 2 000 gigatonnes ».

Martin Tiano

J. M. Matter et al., *Science*, vol. 352, pp. 1312-1314, 2016

Qu'avez-vous découvert dans un silo désaffecté au milieu du village néolithique fortifié d'Achenheim ?

Philippe Lefranc : Nous avons trouvé six squelettes d'hommes polyfracturés dont les cadavres ont été jetés en vrac, accompagnés par quatre bras gauches coupés au niveau de l'humérus.

De quelle époque s'agit-il ?

Ph. L. : Les artefacts mêlés à la terre de remplissage indiquent que le dépôt date de 4400-4200 avant notre ère.

Quelle culture occupait l'Alsace à cette époque ?

Ph. L. : Le groupe de Bruebach-Oberbergen. Ce groupe est un héritier direct de la culture à céramique linéaire (5700-5000), à l'origine du courant de néolithisation danubien, avec ses maisons de bois et pisé, ses grandes nécropoles, sa céramique, ses haches polies...

Y avait-il quelque chose de particulier concernant ce groupe ?

Ph. L. : Rien, sinon qu'il traversait une période troublée. Chose unique en Alsace, le village, dont la fosse occupait d'ailleurs le centre, était entouré par une grande enceinte défensive.

Pourquoi ?

Ph. L. : On peut juste faire remarquer que le groupe de Bruebach-Oberbergen était à l'époque sur le point d'être remplacé par un autre

groupe de culture danubienne venant du Bassin parisien.

Des « Parisiens » étaient-ils à la conquête de l'Alsace ?

Ph. L. : Peut-être, mais les guerres « primitives » ne sont pas de conquête. On peut juste supposer que l'arrivée d'étrangers a exacerbé les tensions, provoquant des raids entre communautés. Du reste, deux pointes de flèches ont été trouvées au contact de l'un des squelettes, ce qui suggère un combat.



Philippe Lefranc, archéologue du Néolithique à l'Inrap

Y a-t-il d'autres possibilités ?

Ph. L. : Une autre serait que l'homme en question, comme les autres captifs, ait été amené au village pour y être massacré. C'est l'interprétation qui prévaut étant donné que, comme l'a montré Fanny Chenal, qui étudie ces restes, tous les défunts ont été poignardés, dont eu le crâne éclaté, le bassin brisé, les phalanges écrasées... bref, tant de blessures pour la plupart mortelles qu'elles ne peuvent résulter que d'un déchaînement de violence en partie *post mortem*.

Donc une violence ritualisée ?

Ph. L. : Oui, c'est ce que rend vraisemblable la comparaison ethnologique avec les pratiques amérindiennes. Les Iroquois, par exemple, ramenaient des captifs pour les torturer toute une nuit avant de les exécuter. Outre ces trophées vivants, d'autres Amérindiens prélevaient des scalps ou des membres. À Achenheim, les bras gauches coupés constituent clairement des prises de trophées guerriers.

Pourquoi de tels rites ?

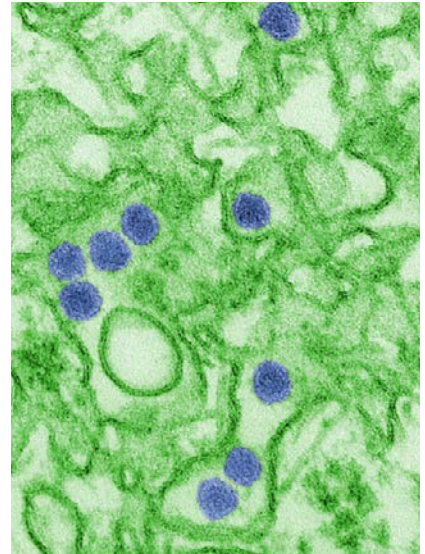
Ph. L. : Leur fonction, peut-on imaginer, est de terroriser l'ennemi, d'handicaper le guerrier ennemi lors de son voyage dans l'au-delà, mais aussi de renforcer l'identité du groupe en engageant chacun, du moins parmi les guerriers, dans le meurtre de l'autre. Très traditionalistes, les communautés néolithiques détestaient sans doute l'innovation et le changement, donc l'étranger qui les apportait. Comme chaque groupe faisait de même, il fallait s'allier pour survivre, ce qui se faisait par échange de femmes. Les nombreuses traces de violence que nous relevons suggèrent que la guerre était endémique. Pour tenter de préciser le sens de celle qui a eu lieu à Achenheim, nous allons analyser les gènes des défunts et tenter de déduire du strontium de leurs dents le lieu où ils ont grandi.

François Savatier

Médecine

Un anticorps contre Zika et la dengue

Un anticorps provenant des patients infectés par le virus de la dengue serait efficace contre le virus Zika. De quoi envisager un vaccin contre les deux maladies.



Moustique : Shutterstock.com/Tacio Philip Sansonowski ; virus : CDC Cynthia Goldsmith

Zika (à droite, en violet sur l'image en microscopie électronique à transmission) est un virus du genre *Flavivirus*. Il est transmis par certains moustiques du genre *Aedes* (ci-dessus).

En février 2016, l'Organisation mondiale de la santé déclarait l'état d'urgence de santé publique à propos du virus Zika, tandis qu'on estimait à 1,5 million le nombre de personnes infectées au Brésil. À l'approche des jeux Olympiques d'été 2016 à Rio, l'inquiétude reste grande et la question d'un vaccin demeure. Cependant, il y a aussi des nouvelles encourageantes. Ainsi, avec des collègues, Félix Rey et son équipe à l'institut Pasteur, à Paris, ont mis en évidence un anticorps à la fois efficace contre Zika et contre un autre fléau des pays tropicaux : la dengue.

Le virus Zika et celui de la dengue appartiennent au genre *Flavivirus*, des virus à ARN transmis par les moustiques dans les zones tropicales. Le virus Zika a été identifié comme responsable de très nombreux cas de microcéphalies chez les fœtus et de syndromes de Guillain-Barré.

Les chercheurs ont découvert que des anticorps provenant de patients infectés par le virus de la dengue et dirigés contre un antigène du virus Zika neutralisaient ce dernier (on parle d'anticorps neutralisants).

L'équipe s'est intéressée à deux protéines structurales du virus de la dengue, prM et E, impliquées dans son processus de maturation à l'intérieur de la cellule infectée. Au cours du développement du virus, prM est découpée et perd un grand fragment. Cette étape est nécessaire pour rendre infectieuses les nouvelles particules virales : elle entraîne la réorganisation de la protéine E à la surface de l'enveloppe virale. Ce changement expose un site antigénique de la protéine E auparavant inaccessible, nommé épitope de la boucle de fusion ou FLE (*Fusion-Loop Epitope*), qui permet la fusion du virus avec la membrane de la cellule. La protéine E est la cible principale des anticorps neutralisants, mais ces derniers sont souvent inefficaces sur ce site antigénique en raison de sa grande variabilité. Pire, ils améliorent parfois le potentiel infectieux du virus en favorisant son entrée dans la cellule.

La plupart des anticorps isolés chez les patients infectés par le virus de la dengue ciblent l'antigène FLE. Certains, toutefois, ciblent un autre site facilement accessible à la surface de

la protéine E – un site stable et conservé car indispensable au bon fonctionnement du virus. Ces anticorps neutralisants à large spectre, appelés EDE pour *E-Dimer Epitope*, neutralisent efficacement le virus de la dengue.

Les chercheurs ont étudié par cristallographie la structure du complexe formé par les anticorps EDE et l'antigène, afin de déterminer le site de fixation des anticorps équivalent sur le virus Zika. Ils ont remarqué que ce site était le même pour Zika que pour la dengue.

Un vaccin contre la dengue, Dengvaxia, vient d'être autorisé dans certains pays. Fondé sur l'antigène FLE, son efficacité est relative : il serait plus efficace chez les individus ayant déjà été infectés par la dengue. Pire, il accentuerait le potentiel infectieux chez les enfants de moins de neuf ans.

Les résultats de cette nouvelle étude permettent d'envisager la fabrication d'un vaccin universel qui, en stimulant la production d'anticorps de l'antigène commun, protégerait à la fois contre Zika et contre la dengue.

William Rowe-Pirra

F. Rey et al., *Nature*, 23 juin 2016

37
pays et
territoires

sont touchés par le virus Zika, notamment le Brésil, le Mexique, le Paraguay, la Colombie, la Bolivie, les Antilles*

Biophysique

Comment la langue du caméléon colle à sa proie

Les caméléons restent immobiles en attendant qu'une proie arrive à leur portée, puis ils projettent leur langue en une fraction de seconde. Le déploiement de la langue n'a plus de secret pour les biophysiciens, mais la capture de la proie, en revanche, restait énigmatique. La langue colle à la victime, mais par quel mécanisme ? Avec ses collègues, Pascal Damman, du Laboratoire interfaces et fluides complexes de l'université de Mons, a évalué l'importance de l'un des facteurs à l'œuvre : la viscosité du mucus dont le bout de la langue est enveloppé.

Les chercheurs ont mesuré cette viscosité en faisant rouler de petites billes d'acier sur une mince couche de mucus de caméléon. Le mucus se révèle 400 fois plus visqueux que la salive humaine.

Cette valeur de la viscosité a ensuite été utilisée dans un modèle dynamique d'adhésion visqueuse qui décrit le mouvement de la langue et de la proie



Au bout de sa langue, le caméléon sécrète un mucus visqueux qui adhère à la proie et contribue notablement à sa capture. Le reptile peut atteindre une proie à une distance équivalente à deux fois sa longueur.

pendant la phase de rétraction. Les chercheurs ont ainsi déterminé la taille maximale de la proie qui peut être capturée. Un caméléon d'environ 16 centimètres serait à même de capturer des oiseaux, lézards ou petits mammifères d'une taille allant jusqu'à une dizaine de centimètres. Or les proies réelles des caméléons sont toutes plus petites que les estimations du modèle, ce qui montre que l'adhésion visqueuse n'est pas un facteur limitant pour la taille des proies.

Les caméléons pourraient en théorie attraper de plus grosses proies. Pourquoi ne le font-ils pas ? D'abord, un caméléon avale sa proie entière ; si elle était trop grosse, il ne pourrait pas l'ingérer. Ensuite, il faut compter avec les erreurs de visée, la réaction de la proie et autres facteurs limitants du même type. Dans le monde réel, la vie des prédateurs n'est pas si facile !

Alexei Kouraev

F. Brau et al., *Nature Physics*,
20 juin 2016

Archéologie

Angkor : un réseau urbain complexe

Angkor, capitale de l'empire Khmer entre le IX^e et le XV^e siècles, fait encore parler d'elle. Un relevé laser réalisé en 2012 par Damian Evans et son équipe, de l'École française d'Extrême-Orient à Paris, avait mis au jour un réseau urbain autour du grand temple d'Angkor Vat. La même équipe a effectué un nouveau relevé, de plus grande ampleur (1910 kilomètres carrés), qui dévoile la complexité et l'étendue de ce tissu urbain.

Pour mener leurs recherches dans la jungle dense du Cambodge, les chercheurs ont développé un procédé de balayage par laser aérien de télédétection.

Ce système décèle les traces de constructions humaines anciennes à travers la végétation.

L'urbanisme des Khmers est mal compris, car ils utilisaient des matériaux non durables : leurs demeures et mêmes les palais royaux étaient en terre, en bois et en chaume. Seuls les temples et les systèmes de gestion des eaux étaient en pierre.

Sur le site de Sambor Prei Kuk, capitale khmère durant la période antérieure au développement d'Angkor, les archéologues ont découvert les traces d'un système hydraulique dont on pensait l'utilisation plus tardive, à l'époque d'Angkor. De plus,

les nouvelles cartes montrent que la ville d'Angkor aurait été aussi vaste que l'actuelle capitale du Cambodge, Phnom Penh. À cela s'ajoute un dense réseau routier reliant les autres villes à la capitale. Tout cela montre l'importance d'Angkor dans la vie économique et sociale de l'empire khmer.

Ces résultats permettront de planifier des recherches plus précises sur les sites pour tenter de trouver des objets en céramique et d'autres matériaux datables.

W. R.-P.

D. Evans et al.,
Journal of Archaeological Science,
13 juin 2016

Deuxième signal pour LIGO

En décembre 2015, l'expérience LIGO a capté un deuxième signal d'ondes gravitationnelles. Il fait suite à celui, historique, de septembre 2015.

Ces ondes ont été émises lors de la fusion d'un système binaire de deux trous noirs. L'analyse du signal a permis de déduire leurs masses : 8 et 14 fois celle du Soleil. Plus légers que ceux liés au signal de septembre 2015 (29 et 36 masses solaires), les trous noirs se sont rapprochés plus lentement, si bien que le signal enregistré est plus faible, mais plus long.

Pour les spécialistes, l'observation de deux coalescences de trous noirs en l'espace de trois mois est une confirmation que ces systèmes binaires sont nombreux dans l'Univers. Cependant, les chercheurs s'interrogent sur leur origine : s'agit-il de deux étoiles qui ont évolué ensemble et formé deux trous noirs, ou d'un trou noir qui en a capturé un autre ? Les astrophysiciens pourront y répondre en accumulant de futures détections d'ondes gravitationnelles, un excellent outil d'exploration de l'Univers.



Angkor Vat est le temple le mieux conservé du Cambodge médiéval. Mais il n'est que le sommet de l'immense iceberg que représente la mégapole d'Angkor.

Nouveaux éléments nommés

Nihonium (Nh), moscovium (Mc), tennessine (Ts) et oganesson (Og) sont les nouveaux noms que les chimistes devront retenir. Les éléments superlourds 113, 115, 117 et 118 font partie du tableau de Mendeleïev depuis fin 2015, mais ce n'est que le 8 juin 2016 que l'Union internationale de chimie pure et appliquée a dévoilé les dénominations proposées par les chercheurs à l'origine de leur découverte. Il faut maintenant attendre le tampon de validation définitive, à la fin de l'année, et l'on pourra alors imprimer de nouveaux tableaux...

Encelade : mince banquise

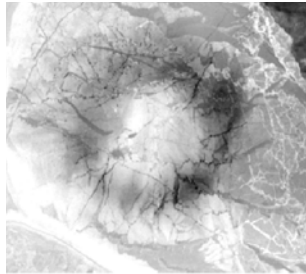
Encelade est un monde étonnant : couverte d'une couche de glace, la lune de Saturne cache un gigantesque océan d'eau liquide. À partir des données récentes de la sonde *Cassini*, Ondrej Cadek, Gabriel Tobie et leurs collègues ont proposé un modèle dans lequel la surface d'Encelade se comporterait comme une coquille élastique sur 200 mètres de profondeur. L'épaisseur de la glace serait alors de 20 kilomètres à l'équateur et seulement 5 kilomètres au pôle Sud. L'océan serait profond de 45 kilomètres et engloberait un noyau rocheux de 185 kilomètres de rayon. Il reste à expliquer pourquoi cet océan n'est pas gelé.

Succès pour LISA Pathfinder

L'environnement le plus calme mis au point par l'homme se trouve à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Au cœur du satellite LISA Pathfinder de l'ESA, les deux masses tests ont été stabilisées et ne sont soumises à aucune autre force que celle de gravité. Ce dispositif est un démonstrateur pour un observatoire spatial d'ondes gravitationnelles. La réussite de l'expérience ouvre la voie vers la seconde phase du projet, eLISA : un interféromètre à laser constitué de trois satellites formant deux bras longs de 1 million de kilomètres.

Géosciences

Les anneaux géants du lac Baïkal expliqués



© Service américain de géologie/Masa, JSC

Durant l'hiver, le lac Baïkal fait apparaître des anneaux d'environ six à sept kilomètres de diamètre.

Les anneaux géants du lac Baïkal, en Russie, intriguaient les chercheurs et le grand public depuis leur découverte en 2009. Ces structures qui peuvent mesurer jusqu'à 7 kilomètres de diamètre se forment dans la glace qui recouvre le lac durant l'hiver. La couche de glace y est plus mince, mais cela n'est visible que depuis le ciel, sous la forme d'anneaux sombres, ce qui explique leur découverte tardive. Ils apparaissent de façon imprévisible, à des endroits différents.

Avec mes collègues, j'ai analysé de nombreuses images satellitaires prises depuis 1974. Nous avons recensé 45 anneaux sur le lac Baïkal. Nous avons aussi découvert, pour la première fois, 4 anneaux sur le lac Khövsgöl en Mongolie. Pour compléter les

données obtenues par les images satellitaires, notre équipe a mené des relevés sur le terrain.

Nous avons mis en évidence la présence sous la glace, au niveau des anneaux, de tourbillons chauds en forme de lentille, qui sont présents avant et pendant la période d'apparition des anneaux sur les images satellitaires. Les tourbillons tournent dans le sens des aiguilles d'une montre et la vitesse y croît du centre jusqu'aux bords. C'est ce fort courant sur les bords qui provoque la fonte de la glace et forme un anneau. Reste maintenant à comprendre quels sont les processus qui engendrent ces tourbillons.

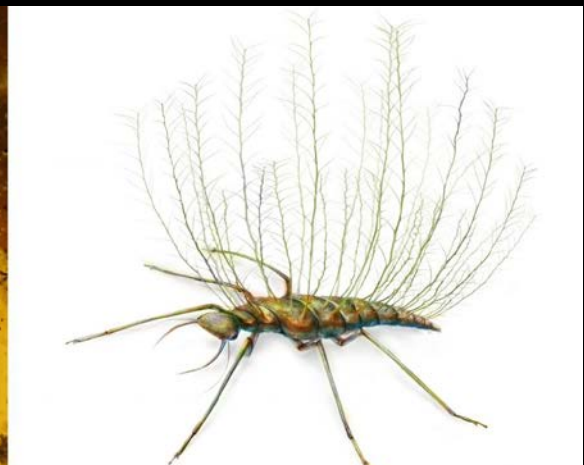
Alexei Kouraev

LEGOS, Toulouse
Limnology and Oceanography,
vol. 61(3), pp. 1001-1014, 2016

Insolite

D'anciens insectes rois du camouflage

L'évolution a doté de nombreux insectes de techniques de camouflage. Une stratégie particulièrement étonnante est celle où l'insecte se couvre de divers débris (végétaux, grains de sable, restes de proies...). Cela suppose un comportement complexe : l'insecte doit être capable de reconnaître, collecter et porter les éléments nécessaires pour parfaire son camouflage. À quand remontent de telles capacités ? Un seul exemple fossile de plus de 66 millions d'années était connu. Bo Wang, de l'Académie chinoise des sciences, et ses collègues en ont découvert plusieurs dans de l'ambre datant du Crétacé, il y a plus de 100 millions d'années. Ainsi, une larve de chrysope verte trouvée dans de l'ambre birman (*ci-dessous à gauche*) portait des trichomes (excroissances) de fougères (*à droite, vue d'artiste*).



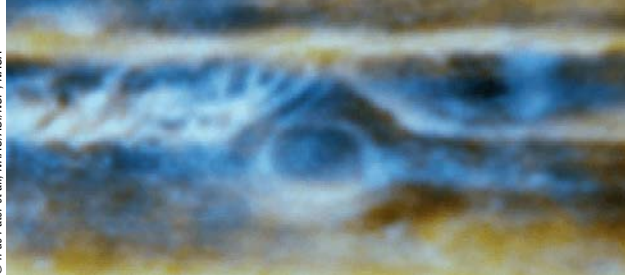
© Bo Wang, Nanjing

Astrophysique

L'atmosphère de Jupiter observée en profondeur

Gâce au radiotélescope *Very Large Array*, au Nouveau-Mexique, l'équipe de Imke de Pater, de l'université de Californie à Berkeley, a mesuré les ondes radio émises par l'atmosphère de Jupiter à une longueur d'onde où les nuages sont transparents, soit entre 4 et 18 gigahertz. Cette technique leur a permis d'observer la composition et les mouvements de l'atmosphère jusqu'à 100 kilomètres de profondeur dans la couche nuageuse.

Les ondes radio émises par la planète sont partiellement absorbées dans cette longueur d'onde par l'ammoniac de l'atmosphère. Mesurer les niveaux d'absorption permet donc de déterminer la quantité de ce gaz et la profondeur à laquelle il se trouve. Cette étude met en évidence les mouvements



La structure en profondeur de l'atmosphère de Jupiter vue en ondes radio, dans la région de la Grande tache rouge. Cette structure présente des similitudes avec celle visible en surface.

ascendants et descendants du gaz au sein de l'atmosphère. De grandes quantités d'ammoniac s'élèvent dans les couches supérieures pour y former des nuages, tandis que les masses gazeuses pauvres en ammoniac perdent de l'altitude et s'enfoncent dans les profondeurs de l'atmosphère.

Par ailleurs, le 5 juillet dernier, la sonde *Juno* de la Nasa s'est placée en orbite autour de Jupiter. Or l'une de ses missions sera justement d'analyser la structure interne de la planète gazeuse avec une précision inédite.

W. R.-P.

Science, vol. 352, p. 1198-1201, 2016

Le petit peuple de Florès

La découverte d'un fragment de mâchoire et de dents fossiles vieux de 700 000 ans sur le site de Mata Menge, en Indonésie, éclaire les origines de l'homme de Florès, notre « petit-cousin » asiatique de l'île éponyme. Plusieurs hypothèses sur l'origine d'*Homo floresiensis* existent et divisent les paléoanthropologues. Or l'absence de fossiles suffisamment anciens empêchait d'éclaircir la question. La nouvelle trouvaille semble soutenir le scénario selon lequel ces petits hommes sont des descendants rapetissés d'*Homo erectus*. Mais cela impliquerait une évolution très rapide : seulement 300 000 ans. Certains spécialistes émettent des doutes et réclament davantage de preuves. Les recherches se poursuivent pour lever le voile sur cette énigme.

france

Dans l'inter

et de

la science



mathieu vidard

la tête au carré
14:05-15:00

france

inter

venez

franceinter.fr

Archéologie

La première église de Nîmes

Seulement 330 mètres carrés de fouilles préventives ont suffi à révéler la plus ancienne église de Nîmes ! Le bâtiment, dont l'équipe de Marie Rochette, de l'Inrap, a mis au jour une partie, date du début du V^e siècle – soit quelques années après l'installation d'un premier évêque à Nîmes.

Sur place, rien de spectaculaire : un arc de fondation délimite une partie de l'abside remplie de sépultures. Les inhumations constituent en fait la principale moisson scientifique des fouilles, puisqu'elles documentent la transition entre les habitudes funéraires païennes et les nouveaux rites chrétiens. Si les petits défunts sont encore enterrés au sein d'amphores, les tombes d'adultes sont en caissons de bois ou de pierre, souvent des matériaux de remploi, par exemple de stèles, inscriptions, dalles, marches, caissons de plafond, tuiles en terre cuite ou en pierre, colonnes, moulures... Ces nombreux emprunts témoignent de la proximité de la nécropole du Haut Empire, où les mausolées romains, en ruine, ont été démontés.

F.S.



Cette tombe, dont l'intérieur est enduit, devait être monumentale.

Environnement

Quand les sables bitumeux polluent l'atmosphère

L'exploitation des sables bitumeux, en pleine expansion dans le monde, représente 9 % de la production mondiale d'hydrocarbures. Montrée du doigt pour son mauvais bilan carbone et pour la pollution locale des écosystèmes, cette industrie produirait également de grandes quantités d'aérosols organiques, avec des répercussions néfastes sur la qualité de l'air et sur le climat.

C'est ce que montre une étude effectuée par John Liggit, de la division de la recherche sur la qualité de l'air du ministère canadien de l'Environnement et du Changement climatique, et ses collègues. Ces chercheurs ont établi que plus de 50 tonnes d'aérosols sont libérées chaque jour dans l'atmosphère par l'exploitation des sables bitumeux au Canada, soit une pollution égale à celle des plus grandes agglomérations du pays. Négligé jusqu'alors, l'impact sur la qualité de l'air de cette industrie doit être pris en compte pour l'évaluation des installations existantes et en projet, plaident les scientifiques.

M.T.

J. Liggit et al., *Nature*, vol. 534, pp. 91-94, 2016

Neurosciences

L'anorexie, nouvelle addiction ?

Laure, 18 ans, brillante élève et perfectionniste, contrôle sa nourriture. À la maison, la jeune fille cherche tous les prétextes pour ne pas se mettre à table. Elle mange de moins en moins, jusqu'au jour où elle est hospitalisée à cause de sa maigreur. Comme 1 à 3 % des filles de 13 à 25 ans, elle souffre d'anorexie mentale, la pathologie psychiatrique avec le plus fort taux de décès. Mais la recherche sur cette maladie piétine. Pourquoi ? Peut-être parce qu'elle n'est pas correctement définie, selon Philip Gorwood et ses collègues, de l'hôpital Saint-Anne à Paris.

D'après le *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*, l'anorexie mentale repose sur trois critères : une restriction alimentaire menant à la perte de poids, une perception déformée de son poids et de son corps, et une peur intense de grossir.

Les chercheurs ont testé ces critères auprès de 70 patientes. Ils leur ont montré des images de personnes maigres, de poids normal ou en surpoids, tout en évaluant leurs émotions à l'aide d'un test de « conductance cutanée » qui mesure la transpiration de la peau. Les photographies des personnes de poids normal ou en surpoids provoquaient chez les patientes la même réaction émotionnelle que chez les sujets témoins. En revanche, les images de personnes maigres

déclenchaient chez les anorexiques des émotions positives. En d'autres termes, pour les patientes, la vue de la maigreur serait agréable. De plus, les jeunes malades estimaient avec justesse le poids des silhouettes qui leur étaient présentées.

Une autre étude avait déjà révélé, par IRM fonctionnelle, que le striatum des patientes regardant des images de maigreur s'activait fortement. Or cette région cérébrale profonde appartient au circuit de la récompense (qui participe au plaisir et aux addictions).

Deux des trois critères de diagnostic seraient-ils donc faux ? Pour Philip Gorwood et d'autres chercheurs, cela ne fait pas de doute. Il ne faudrait plus considérer l'anorexie comme une peur de grossir, mais plutôt comme un plaisir de maigrir. La prise en charge ne serait alors pas la même !

Laure est soignée pour son évitement phobique des aliments caloriques : on lui réapprend progressivement à accepter la nourriture. Or il est probable qu'il faudrait plutôt la « désintoxiquer ». La remédiation cognitive, qui améliore la flexibilité mentale, pourrait être efficace, ainsi que la thérapie de pleine conscience, pour retrouver le plaisir à manger.

Bénédicte Salthun-Lassalle

J. Clarke et al., *Translational Psychiatry*, vol. 6, e829, 2016



© Belovodchenko Arion / Shutterstock.com



Abonnez-vous à POUR LA SCIENCE

Plus de
24%
de réduction

OFFRE LIBERTÉ
4,90€
PAR MOIS
SEULEMENT

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

PAS466

☒ **OUI**, je m'abonne à **Pour la Science** formule Découverte.
Je règle par prélèvement automatique de 4,90€ par mois et
je complète l'autorisation ci-contre. **J'économise 24% par mois.**
(IPV4E90)

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____

@ _____

J'accepte de recevoir les informations de *Pour la Science* ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

Délai de livraison: dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/08/16 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à *Pour la Science*. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre.

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA En signant ce mandat SEPA, j'autorise *Pour la Science* à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____
(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier

Pour la Science - 8 rue Férou - 75006 Paris

N° ICS FR92ZZZ426900

N° de référence unique de mandat (RUM)

Joindre un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire