

■ POUR LA

SCIENCE

Juillet 2013 - n° 429

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American

L'intelligence des **abeilles**

Elles savent
même compter !

**Le Colisée :
une géométrie
optimale**

**Les tricots
mathématiques**

**Les métaux étranges
et la théorie des cordes**



ENDNOTE® NOUVELLE VERSION

N'importe où, n'importe quand...

X

RECHERCHEZ
ORGANISEZ
RÉDIGEZ
PARTAGEZ

À PARTIR DE
95€ HT
ÉDUCATION



Disponible pour Windows.



Prochainement disponible pour Macintosh.

LE MEILLEUR GESTIONNAIRE POUR VOUS ACCOMPAGNER DANS VOTRE TRAVAIL AU QUOTIDIEN.

EndNote simplifie la gestion de votre bibliographie en vous donnant accès aux meilleurs sources d'informations disponibles. Il facilite la collaboration entre collègues et permet en quelques clics de rendre des documents textes d'une qualité exceptionnelle.



- 1 Dossier prédéfini par l'utilisateur sur l'ordinateur permettant l'import automatique de PDFs.
- 2 Groupes contenant des PDFs sont importés automatiquement de façon organisée (avec les mêmes noms) dans EndNote.
- 3 Ajoutez des citations et une liste de référence à vos diapositives PowerPoint (disponible uniquement sous Windows).
- 4 Ajoutez des en-têtes à votre bibliographie dans Microsoft Word en utilisant vos propres catégories ou celles prédéfinies par type de référence.
- 5 Utilisez la fonction Sync améliorée qui travaille en tâche de fond de façon à sauvegarder votre travail en continu et à le rendre disponible online ou sur votre iPad. Identifiez très rapidement les groupes que vous partagez en ligne (EndNote Web) à partir de votre bibliothèque EndNote.

Laissez vous tenter par **ENDNOTE X7**.

Vos documents seront tout simplement mieux organisés et plus faciles à gérer.

www.ritme.com/endnote

RITME - Distributeur Officiel • 34, bd Haussmann • 75009 Paris • France

Tél. : +33 (0)1 42 46 00 42 • Fax : +33 (0)1 42 46 00 33

info@ritme.com • www.ritme.com

Sauf indication contraire : logiciel et documentation en anglais, et livraison par téléchargement ou par CD-Rom.

© Copyright 2013 RITME. EndNote est une marque déposée de Thomson Reuters.

Toutes les marques déposées sont la propriété de leurs sociétés respectives.

RITME
NOTRE MÉTIER : FACILITER LE VÔTRE

Distributeur officiel en France

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice de la rédaction : Françoise Pétry

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédacteurs : François Savatier, Marie-Neige Cordonnier,
Philippe Ribeau-Gésippe, Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossiers H.S. Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef : Françoise Pétry

Rédacteur : Sébastien Bohler

L'Essentiel Cerveau & Psycho H.S.

Rédactrice : Bénédicte Salthun-Lassalle

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Annie Tacquenet,

Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy,
Caroline Vanhoove.

Site Internet : Philippe Ribeau-Gésippe

Marketing : Élise Abib assistée de Anaïs Grelet

Direction financière : Anne GUSDORF

Direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Jérôme Jalabert assisté de Marianne Sigogne

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 : François Arleo, Damir

Buskalic, Nadine Cerf-Bensussan, Carlo Costantini, Françoise

Dal'Bo-Milonet, Gérard Eberl, David d'Enterrin, Évelyne

Host-Platret, Jérôme Novak, Christophe Pichon, Estelle

Rose-Koga, William Rostène, Daniel Tacquenet, Paul Tafforeau.

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 :

0805 655 255 (numéro vert)

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 Gor-

man, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong. President :

Steven Inchcombe. Executive Vice President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public fran-

çais ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les do-

cuments 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 tra-

duction, 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 par-

tiellement la présente revue sans autorisa-

tion de l'éditeur ou du Centre français de l'ex-

ploitation du droit de copie (20, rue des

Grands-Augustins - 75006 Paris).



Intrications paradoxales

En 1935, Albert Einstein et d'autres physiciens travaillant sur la théorie quantique proposèrent que certaines particules, même fort éloignées, sont liées par une connexion qu'ils qualifièrent de fantomatique. En raison de ce phénomène nommé intrication, les propriétés de ces particules se coordonnent, c'est-à-dire que leurs états sont liés malgré la distance qui les sépare. Dans certains matériaux, les électrons sont intriqués en masse dans des conditions particulières de température et de pression. En considérant le « degré d'intrication » comme une dimension supplémentaire, les physiciens parviennent à étudier les surprenantes propriétés de ces matériaux (voir *Métaux étranges et théorie des cordes*, page 36).

Des comportements étranges apparaissent dans un tout autre domaine : celui des statistiques, dont l'interprétation réserve parfois quelques surprises. Ainsi, supposons que l'on cherche à comparer l'effet d'un médicament et celui d'un placebo. Quand les hommes et les femmes sont testés séparément, le placebo est plus efficace. Mais quand on regroupe hommes et femmes, on constate que... le médicament est plus efficace que le placebo !

L'interprétation des statistiques réserve parfois quelques surprises.

Ce paradoxe dit de Simpson, du nom de celui qui l'a décrit le premier en 1951, est gênant. Il est indispensable d'en avoir conscience quand il s'agit de prendre des décisions sanitaires pertinentes (voir *L'embarrassant paradoxe de Simpson*, page 80). Tout aussi embarrassant, le paradoxe d'Easterlin. Cet économiste américain confirma l'adage : l'argent ne fait pas le bonheur. Il l'établit en reliant la perception du bien-être en fonction des revenus. Toutefois, cette conclusion était sans doute hâtive et le paradoxe est remis en question : le bonheur serait relatif et dépendrait notablement de la fortune du voisin (voir *La mesure du bonheur*, page 66).

Plus surprenant : les Français sont moins heureux que leurs voisins européens, à revenus comparables. Ils éprouvent moins d'émotions positives et davantage d'émotions négatives. La mentalité et la culture françaises en seraient la cause. À moins que quelque biais statistique n'entache ce résultat...

1 **ÉDITO**4 **BLOC-NOTES**

Didier Nordon

Actualités

6 **Le plus ancien squelette de primate**7 **Le sillage fait des vagues**8 **Comment l'organisme cohabite avec sa flore intestinale**10 **Un théorème pour nombres premiers presque jumeaux**

... et bien d'autres sujets.

Opinions

14 **POINT DE VUE**
Pour une mémoire des risques

Emmanuel Garnier

15 **DÉVELOPPEMENT DURABLE**
Marché européen du carbone : une réforme est nécessaire

Raphaël Trotignon

19 **VRAI OU FAUX**
Une planète doit-elle être petite pour être naine ?

Guillaume Jacquemont



Ce numéro comporte un encart « Voyage culturel de 8 jours en Turquie » [Dialogue Marketing] posé sur la totalité de la diffusion abonnés, et deux encarts d'abonnement *Pour la Science* brochés sur la totalité du tirage.

En couverture : © Peter Waters/shutterstock.com

À LA UNE

20 **PSYCHOLOGIE ANIMALE**
L'intelligence des abeilles

Aurore Avarguès-Weber

Les abeilles ont des facultés cognitives étonnantes pour des animaux dotés d'un si petit cerveau. L'étude des mécanismes neuronaux sous-jacents pourrait inspirer certains dispositifs d'intelligence artificielle.

28 **BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**
Des clés moléculaires pour les cellules

Roland Brock et Wouter Verdurmen

La membrane des cellules est infranchissable pour nombre de molécules présentant un intérêt thérapeutique. De petits fragments de protéines découverts dans les années 1990 pourraient leur permettre d'accéder à l'intérieur des cellules.

36 **PHYSIQUE**
Métaux étranges et théorie des cordes

Subir Sachdev

Certains états de la matière récemment identifiés ont pour origine des phénomènes quantiques que les théoriciens ont du mal à étudier avec les outils usuels. Un domaine inattendu vient à leur rescousse : la théorie des cordes.



44 MATHÉMATIQUES Le tricot mathématique

Sarah-Marie Belcastro

Le tricotage permet de traduire des surfaces et des objets mathématiques abstraits en formes tangibles. Mais cela exige à la fois du temps et de la créativité.

52 TECHNOLOGIE SPATIALE Des vols spatiaux pour tous ?

Alan Stern

L'espace de demain ne sera pas réservé uniquement aux touristes fortunés. Pour les chercheurs, l'industrie spatiale commerciale naissante ouvre des possibilités nouvelles, moins chères et variées.

59 ARCHÉOLOGIE L'amphithéâtre romain, une architecture optimale

Jean-Claude Golvin

La *spectacula*, qui deviendra l'amphithéâtre, est le seul grand édifice antique spécifiquement romain. Il est le fruit de siècles d'une étonnante optimisation architecturale.



66 SCIENCES SOCIALES La mesure du bonheur

Joachim Weimann, Ronnie Schöb et Andreas Knabe

Les économistes cherchent à quantifier la notion de bonheur. Mais les méthodes qu'ils élaborent sont à manier avec précaution et produisent des résultats aussi intéressants que difficiles à interpréter...

Regards

- 74 **HISTOIRE DES SCIENCES**
Les pionniers oubliés de la TSF
Jean-Jacques Ledos
Des débuts de la transmission sans fil, on connaît surtout les grandes étapes et les découvreurs associés. Mais son histoire est bien plus que cela.
- 80 **LOGIQUE & CALCUL**
L'embarrassant paradoxe de Simpson
Jean-Paul Delahaye
Les statistiques conduisent à des décisions fondées et rationnelles... à moins qu'un paradoxe ne s'en mêle, comme cela arrive avec certains jeux de données.
- 86 **SCIENCE & FICTION**
Le fantasma de l'invisibilité
Roland Lehoucq et J. Sébastien Steyer
- 88 **ART & SCIENCE**
Entre le vivant et l'inerte
Loïc Mangin
- 90 **IDÉES DE PHYSIQUE**
Les mélodies du café soluble et de l'hélium
Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik
- 93 **SCIENCE & GASTRONOMIE**
Pelures toxiques
Hervé This
- 94 **À LIRE**

Rendez-vous sur

**POUR LA
SCIENCE .fr**

Le site de référence
de l'actualité scientifique internationale

- **Toutes les sciences en un clic**
 - Des actualités quotidiennes
 - Des articles en libre accès
 - Votre magazine numérique en ligne*
 - Plus de 8 ans d'archives*
- **Des services exclusifs**
 - Les réactions aux articles**
 - Des offres d'emploi scientifiques
 - Des newsletters**
 - Un espace abonnement

* Service payant. Si vous êtes abonné(e), les numéros compris dans votre abonnement sont offerts.
** En créant votre compte.

→ COMMENT DÉBIAISER ?

Certaines recherches sur les comportements humains passent par l'observation de cobayes rémunérés. Ceux-ci, sans doute, sont moins souvent bourgeois nantis que chômeurs désargentés. Un biais risque donc de s'introduire. Qui sait si le stress dû à la pauvreté ne modifie pas, par exemple, la variation des paramètres physiologiques en fonction des stimulus ? Il s'est trouvé des chercheurs au XIX^e siècle pour envisager des hypothèses de ce genre, et étudier les particularités des odeurs émises par les mendiants (Alain Corbin, *Le miasme et la jonquille*, chap. *La puanteur du pauvre*).

L'argent n'est pas seul fauteur possible de biais. Une enquête de santé publique actuellement en cours suit une cohorte de volontaires sur une longue période : tests sanguins, examens médicaux, électrocardiogrammes, dépistages divers. Les gens que la médecine angoisse sont exclus ; si elle les effraie, s'ils ne se tournent vers elle que quand la maladie les y force, ils ne se sont sûrement pas portés volontaires. Qui sait si leur fuite devant la médecine n'est pas liée à des spécificités dans leurs profils médicaux qu'il aurait été intéressant de découvrir ?

Les biais sont aux statistiques ce que l'incomplétude est à la logique. On a beau faire, il se pose toujours des questions auxquelles on n'a pas de quoi répondre.



→ AIMABLE CONTRADICTION

La meilleure façon d'enrichir votre pensée est d'écouter les objections et de les prendre non comme un désaveu, mais comme une stimulation. Il n'y a donc rien de masochiste à dire : « J'aime la contradiction. » Mais, si vous dites cela et que, de fait, je contredis l'un de vos propos, je vais dans votre sens, puisque je flatte votre caractère. En apparence, je vous contredis ; en vérité, je me conforme à ce que vous attendiez de moi.

On ne peut jamais satisfaire ceux qui aiment la contradiction. Voilà pourquoi ils sont toujours contrariés.

→ PRÉVISIONS INCERTAINES

La tirade de la calomnie du *Barbier de Séville* a beau décrire un procédé aussi familier à notre temps qu'à celui de Beaumarchais, elle ne dit pas si telle rumeur sur Internet visant telle personnalité est ou non une calomnie.

Demême, lorsque La Rochefoucauld écrit : « Pour bien savoir les choses, il en faut savoir le détail ; et comme il est presque infini, nos connaissances sont toujours superficielles et imparfaites », il me console en montrant que de grands esprits ont été, eux aussi, désarmés devant le monde, mais il ne me donne aucun moyen de sortir de mes perplexités.

Enfin, les études sur les polémiques scientifiques décrivent la rigidité de savants passionnés au point de ne plus entendre les arguments adverses. Mais, quand une polémique éclate, les lois de la psychologie ne révèlent pas si la crispation de tel sur sa position tient au fait qu'il voit juste ou au fait qu'il s'accroche à son erreur.

Bref, les notations morales ou psychologiques cernent l'éternel humain, si tant est qu'il existe, mais n'aident pas à agir, car les circonstances auxquelles celui-ci est confronté sont toujours inattendues. Or tout dépend d'elles. Les problèmes jouent

avec les hommes comme avec des dés. Quoiqu'un dé soit un objet bien connu, on ne sait jamais quelle face sortira. Un probabiliste ne prédit pas quelle combinaison gagnera au loto, pas plus qu'un météorologue ne prévoit si l'orage va éclater ici ou là-bas. Les sciences voient, elles aussi, l'issue des configurations éphémères leur échapper.

La relative constance des traits essentiels inhérents à l'homme nous donne du temps pour les découvrir au fil des siècles. Seulement, en chaque situation, les circonstances jouent un rôle déterminant. Et ce qu'elles ont de permanent, c'est de changer sans cesse. Du coup, connaître l'essentiel ne donne pas de maîtrise sur les événements.

→ CASSANDRE CLAIRVOYANT

Celui qui, dans les années 1930, sentait venir une guerre était-il pessimiste ? Celui qui, dans les années 1960, estimait que la tension Est-Ouest se résorberait sans guerre était-il optimiste ? Non. Ils étaient clairvoyants.

Est-il pessimiste, celui qui, aujourd'hui, craint que la collecte de données informatiques et biométriques n'aide notre société à se muer en tyrannie ? Mauvaise question. Ce qui importe est de savoir s'il est clairvoyant.

Annoncer le pire afin qu'il ne se réalise pas : c'est le paradoxe du prophète de malheur. Sa noirceur n'est pas un excès, mais



un moyen. Il aura prévu un avenir terrible avec des arguments si forts que, grâce à lui, on aura détourné le cours des choses et évité cet avenir.

Donc, même si la suite des événements dément ses avertissements, il peut avoir été clairvoyant, c'est-à-dire avoir mis en garde contre un danger réel. Évidemment, il peut aussi s'être démené contre un danger imaginaire. Le recul du temps ne permet pas toujours de trancher. Il faudrait pouvoir faire de l'histoire contrefactuelle, et démontrer que, s'il ne l'avait pas prédite, la catastrophe se serait produite.

On peut parfois être sûr qu'un Cassandre avait raison, on ne peut jamais être sûr qu'il avait tort.

→ MÊME PAS MAL ?

Les résultats objectifs passent pour plus difficiles à obtenir et plus riches d'informations que les déclarations subjectives, toujours sujettes à caution. Il est cependant un domaine où l'inverse se produit : l'étude de la douleur chez les animaux. Les observations objectives ne manquent pas. Le jappement d'un chien après un coup ; les réactions de protection, comme le retrait d'une patte ; les modifications de pression artérielle, du rythme respiratoire ou cardiaque, etc. L'imagerie médicale explore aussi des pistes. Connaissant les zones du cerveau humain activées par la douleur, on peut sup-



poser qu'un animal est en proie à ce que nous nommons douleur lorsque des zones analogues apparaissent activées chez lui.

Pourtant, cela ne nous éclaire pas sur son ressenti. Nous pouvons accumuler les observations, mais l'essentiel nous échappe : des informations subjectives sur ce que la douleur est pour un animal. ■

VIGIE NATURE

Un réseau de citoyens qui fait avancer la science

Vigie-Nature, et si c'était vous ?

Abeille coucou © P. Pica, observatrice SPIPOLL



VIGIENATURE.FR



Dans un jardin, en ville, à la campagne et même au bord de la mer, faites partie d'un grand réseau citoyen et participez avec les chercheurs du Muséum national d'Histoire naturelle à mieux comprendre la biodiversité.

CHAQUE OBSERVATEUR COMPTE !

Vigie-Nature, fondé par le Muséum et co-piloté par des associations, offre aux citoyens la possibilité d'épauler les chercheurs en créant un réseau d'observateurs de la nature.

Le réseau : 10 000 participants réunis au sein de 16 observatoires de la biodiversité (papillons, oiseaux, chauves-souris, libellules, escargots, plantes sauvages en ville...) pour tous les curieux de nature, les naturalistes avertis, les élèves, les agriculteurs... Vigie-Nature c'est aussi 20 ans de données, 1 400 000 papillons comptés, 83 000 photos d'insectes pollinisateurs et 60 articles scientifiques publiés par plus de 25 chercheurs.

REJOIGNEZ LE RÉSEAU !

Retrouvez tout l'été Vigie-Nature du lun. au ven. lors du 5/7 sur France Inter



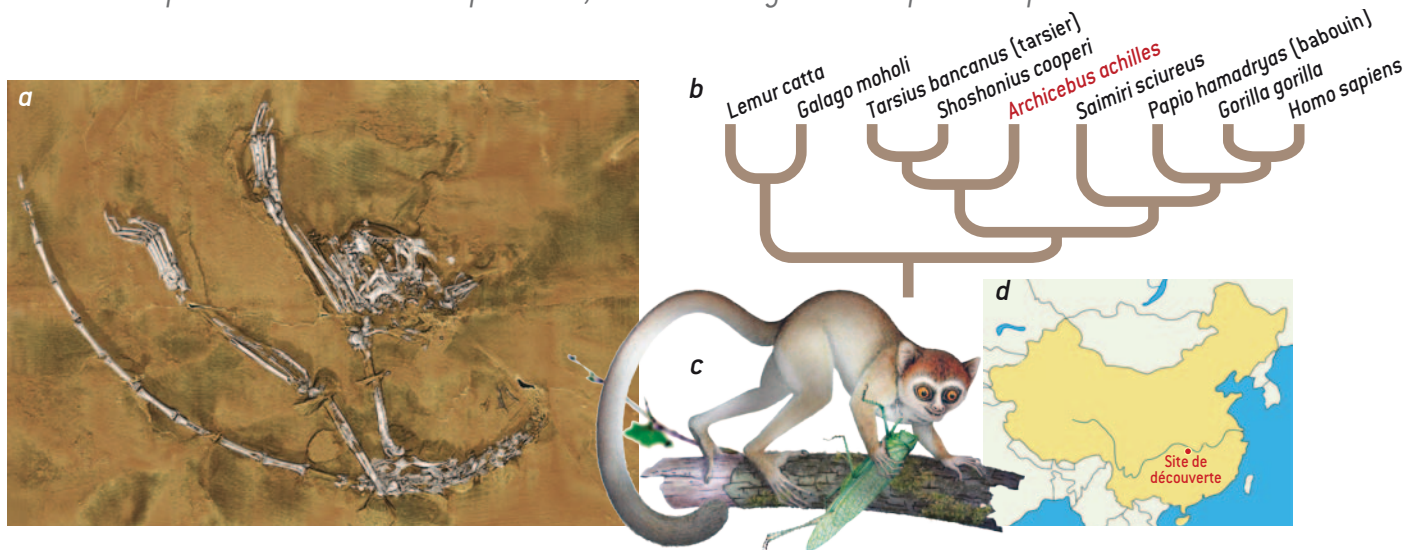
Vigie-Nature soutenu par :



Paléontologie

Le plus ancien squelette de primate

Un squelette fossile de primate vieux de 55 millions d'années a été découvert en Chine. Plus ancien que tous ceux connus auparavant, il nous renseigne sur les premiers primates.



Une image tridimensionnelle du squelette d'*Archicebus achilles* (a) a été reconstituée grâce à une microtomographie par rayons X du fossile, réalisée au synchrotron européen de Grenoble. Il s'agissait d'un petit primate arboricole et insectivore (c, vue d'artiste). Mis au jour en Chine centrale (d), il appartient à la famille des tarsiidés, à l'instar des tarsiers actuels. Cette famille aurait divergé de celle des anthropoïdes [babouins, gorilles, humains, etc.] il y a plus de 55 millions d'années (b, un arbre évolutif simplifié).

Qu'y a-t-il de commun entre le tarsier, un minuscule primate asiatique d'une quinzaine de centimètres, et l'homme ? Un ancêtre ! Une collaboration internationale menée par Xijun Ni, de l'Académie chinoise des sciences, a découvert un fossile vieux de 55 millions d'années, qui ressemblerait à cet ancêtre commun, voire aux premiers primates.

Le fossile a été mis au jour en Chine centrale, près du fleuve Yangzi Jiang. Il s'agit d'un squelette de primate quasi complet, le plus ancien connu : auparavant, seules quelques dents fossiles isolées datant de cette époque avaient été découvertes et les plus anciens squelettes étaient plus récents de sept millions d'années. Le nouveau fossile a été nommé *Archicebus achilles*, d'après le grec *arche* (signifiant « le premier ») et le latin *cebus* (« singe »). Le nom d'espèce, *achilles*, souligne la forme particulière de son talon, qui ressemble à ceux des anthropoïdes – la branche évolutive qui comprend notamment les grands singes et les humains.

Le fossile a d'abord été scanné aux rayons X au synchrotron européen ESRF (pour *European Synchrotron Radiation Facility*), à Grenoble. Les paléontologues ont ainsi reconstitué une image en trois dimensions du squelette. Ils ont alors pu l'analyser en détail et déterminer le mode de vie de l'animal, ainsi que sa place dans l'arbre évolutif.

Archicebus achilles vivait au début de l'Éocène, une époque chaude où une grande partie du monde était couverte de forêts tropicales. Il était minuscule, avec un corps d'environ sept centimètres et une queue de 13 centimètres. Il ne pesait qu'une vingtaine de grammes, un peu moins que le plus petit primate actuel, le microcèbe pygmée de Madagascar (un lémurien).

Certains éléments anatomiques, tels ses longues jambes et son gros orteil opposable, suggèrent qu'il se déplaçait en bondissant de branche en branche. La forme et la taille de ses dents indiquent un régime alimentaire constitué d'insectes. Il était actif le jour, comme le montre la taille

de ses orbites – assez grandes, traduisant une bonne vision, favorable à la chasse, mais pas hypertrophiées comme celles des animaux nocturnes.

Pour déterminer sa place sur l'arbre évolutif des primates, les paléontologues ont répertorié et comparé plus de 1 000 caractères anatomiques, collectés sur 157 animaux. *Archicebus achilles* présente un mélange unique de caractères d'anthropoïdes et de tarsiers. Il appartiendrait à la même famille que ces derniers et serait né peu après la divergence avec les anthropoïdes.

X. Ni et son équipe pensent d'ailleurs qu'il ressemble à l'ancêtre commun des anthropoïdes et des tarsiers. Cet ancêtre serait donc de petite taille, et non pas grand comme les singes actuels, ainsi que le croyaient certains paléoanthropologues. *Archicebus achilles* pourrait même être assez proche des premiers primates, qui auraient donc été petits, arboricoles et insectivores.

→ Guillaume Jacquemont

X. Ni et al., *Nature*, en ligne le 5 juin 2013

Hydrologie

Sahara : les aquifères se rechargent, mais pas assez

A plusieurs centaines, voire milliers, de mètres sous le Sahara s'étend un gigantesque système aquifère, hérité de périodes humides anciennes. Grand comme presque deux



Les oasis du Sahara puisent dans les eaux souterraines.

fois la France métropolitaine, il contient plus de 30 000 kilomètres cubes d'eau. Il a permis le développement de communautés urbaines et agricoles, mais ces dernières n'épuisent-elles pas l'eau disponible ? Julio Gonçalves, de l'Université d'Aix-Marseille, et ses collègues ont montré que le système se rechargeait, mais pas assez pour compenser les prélèvements.

Les chercheurs ont analysé les variations locales de l'accélération de la pesanteur, mesurées depuis 2002 par le satellite germano-américain GRACE, et

en ont déduit les variations de la masse d'eau souterraine. Ils ont aussi estimé les quantités d'eau qui s'échappent du système aquifère, principalement en raison du pompage pour l'irrigation. Ils ont ainsi montré que les eaux de pluie et de ruissellement lui apportent en moyenne 1,4 kilomètre cube d'eau par an, mais que cette recharge ne représente que 40 pour cent des pertes. Une gestion plus durable de l'eau doit donc être mise en place.

→ G. J.

J. Gonçalves et al., *Geophysical Res. Lett.*, en ligne le 17 avril 2013

Physique

Le sillage fait des vagues

En 1887, le physicien anglais William Thomson, qui se nommera plus tard lord Kelvin, s'intéressa au sillage des bateaux. Les ondes de gravité créées à la surface de l'eau par la coque qui avance s'écartent du bateau en formant un sillage en V, dont l'angle est d'environ 39 degrés. Kelvin montra que cet angle était constant. Mais l'observation de bateaux modernes et rapides révèle un sillage plus étroit. Marc Rabaud et Frédéric Moisy, du Laboratoire FAST à Orsay, ont expliqué pourquoi cet angle change quand la vitesse augmente.

Pour comprendre ce qui se passe à grande vitesse, il faut revenir sur le raisonnement de Kelvin sur les bateaux de l'époque, dont l'allure était modérée. Lorsque le bateau se déplace, il crée des ondes circulaires à la surface de l'eau. L'ensemble de ces ondes forme alors le sillage en V, qui s'écarte vers l'extérieur à une vitesse proportionnelle à celle du



bateau. Par construction géométrique, on trouve que l'angle du V est constant et vaut 38,94 degrés. Il ne dépend ni de la longueur du bateau ni de sa vitesse.

Ce résultat ne semble toutefois pas vrai pour des bateaux rapides. M. Rabaud et F. Moisy ont montré que la formation du sillage change de régime quand le bateau dépasse une vitesse critique. Cette dernière est liée à la longueur du bateau, qui impose la longueur d'onde

et donc la vitesse maximale des ondes que le navire peut créer. Dans ce régime, la vitesse des ondes les plus rapides plafonne à cette valeur critique. Cette limitation fait que le sillage ne peut plus s'étendre latéralement aussi vite que dans le régime de Kelvin à faible allure : il forme alors un cône plus étroit.

→ Sean Bailly

M. Rabaud et F. Moisy, *Physical Review Letters*, vol. 110, 214503, 2013

En bref

Les débuts du vin gaulois

La culture du vin a débuté durant le Néolithique au Proche-Orient. Elle s'est étendue au fur et à mesure vers l'Ouest, autour du bassin méditerranéen. Les fouilles de l'ancien port de Lattara, près de Montpellier, montrent une activité d'importation de vin étrusque vers l'an -500. Ces échanges ont permis le développement d'une production locale vers -400 : c'est ce que confirme l'analyse chimique de résidus sur une presse en calcaire trouvée sur le site, analyse effectuée par une équipe américano-française.

Volcans et hivers irlandais

L'émission volcanique d'aérosols de soufre dans l'atmosphère pourrait réduire la température globale de cette dernière, car les particules diffusent une partie de la lumière solaire. Pour tester cette hypothèse, une équipe internationale a utilisé des chroniques irlandaises qui couvrent la période de 431 à 1649 et qui évoquent 69 hivers rigoureux. Les chercheurs ont noté que 37 hivers rigoureux ont coïncidé avec des éruptions, lesquelles ont été datées par analyse de carottes de glace groenlandaises.

Les TOC neutralisés

Les troubles obsessionnels compulsifs (TOC) toucheraient près de un million de personnes en France. On sait qu'ils sont liés à un manque d'inhibition du striatum (une structure cérébrale impliquée notamment dans les habitudes) par le cortex. Sur des souris présentant des TOC, une équipe internationale a stimulé, par optogénétique (activation par un faisceau lumineux de neurones modifiés génétiquement), les neurones du cortex connectés au striatum : les TOC des animaux ont notablement diminué.

En bref

Marqueurs de virulence

Dans les tumeurs cancéreuses, des gènes exprimés d'ordinaire seulement dans d'autres tissus sont activés. Une équipe franco-américaine s'est servie de ce phénomène pour établir des biomarqueurs de la virulence. Pendant dix ans, les chercheurs ont étudié les gènes exprimés de façon anormale dans les cellules tumorales de près de 300 patients. Quelque 26 d'entre eux étaient associés à des cancers très agressifs. En déterminant quels gènes sont exprimés dans une tumeur, pourrait-on alors pronostiquer sa virulence ?

Lèpre : peu de mutations

L'équipe de Verena Schuene-mann, de l'Université de Tübingen, a séquencé le génome d'échantillons de *Mycobacterium leprae*, la bactérie responsable de la lèpre, provenant de cinq lépreux européens du X^e au XIV^e siècles et de 11 patients actuels dans le monde. La bactérie a peu changé durant ce laps de temps : seules 800 mutations environ se sont produites. Cela suggère que le déclin de la lèpre au XVI^e siècle n'est pas dû à une baisse de virulence du pathogène, mais à l'émergence d'autres maladies, ou à l'amélioration des conditions sociales.



© NASA/Centre Goddard de vol spatial

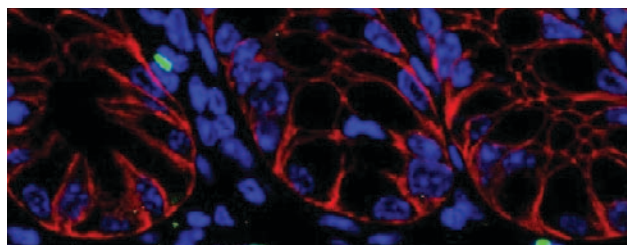
Vue d'artiste d'un « anti-glitch » accompagné d'une forte émission de rayonnement X.

Immunologie

Comment l'organisme cohabite avec sa flore intestinale

L'intestin humain héberge pas moins de 10^{14} bactéries, qui participent à la digestion. Comment le système immunitaire rend-il possible cette cohabitation ? Gregory Sonnenberg, de l'Université de Pennsylvanie, aux États-Unis, et ses collègues ont apporté une réponse en mettant au jour un nouveau mécanisme de tolérance de la flore intestinale, l'ensemble des micro-organismes qui peuplent l'intestin. Chez la souris, ils ont montré qu'une sous-population de cellules immunitaires, des cellules lymphoïdes innées, limite la réaction inflammatoire de l'intestin.

Le système immunitaire intestinal agit en deux étapes. Une première réaction rapide est orchestrée par les cellules immunitaires dites innées. Certaines – les cellules lymphoïdes innées – renforcent la barrière intestinale, tandis que d'autres activent une



Coupe histologique de l'intestin d'une souris observée en microscopie à épifluorescence. Les cellules lymphoïdes innées (en vert) sont rares à côté des cellules qui tapissent le tube digestif (en rouge et bleu).

seconde réaction plus lente et plus spécifique, dite adaptative. Dès la naissance, l'organisme renforce sa barrière intestinale, tandis que, au fil de l'alimentation, la flore intestinale évolue. Un équilibre s'instaure entre cette flore et le système immunitaire de l'intestin.

Pour comprendre comment il est maintenu, les biologistes ont étudié la réponse immunitaire de souris dont ils avaient supprimé

une classe de cellules lymphoïdes innées impliquée dans la réaction aux microbes. Sans infection, les souris ont déclenché une forte réponse adaptative. Ces cellules contribueraient ainsi à l'homéostasie intestinale en limitant le recrutement des cellules de l'immunité adaptative.

→ Marie-Neige Cordonnier

M. R. Hepworth et al., *Nature*, en ligne le 22 mai 2013

Astrophysique

La rotation étonnante d'une étoile à neutrons

Les pulsars sont des étoiles à neutrons qui tournent vite sur elles-mêmes et émettent un signal électromagnétique périodique. Leur vitesse de rotation diminue très lentement, mais peut croître de façon soudaine, ce que l'on nomme un « glitch ». Or des astronomes ont observé un glitch où la vitesse de rotation de l'étoile à neutrons a diminué au lieu d'augmenter.

La structure d'une étoile à neutrons est liée aux conditions extrêmes de pression et de densité qui y règnent (un centimètre cube d'un tel astre pèse un milliard de tonnes !). Dans le modèle le plus général, la croûte est constituée

d'un réseau cristallin très compact de noyaux de fer. Plus en profondeur règne un superfluide (un fluide de viscosité nulle) riche en neutrons, qui pourrait expliquer les glitches. En effet, l'étoile perd de l'énergie via ses émissions électromagnétiques et son vent stellaire. La rotation de la croûte ralentirait donc, tandis que le superfluide garderait sa vitesse initiale de rotation. La contrainte mécanique due à la différence de vitesses de rotation entre les deux couches serait brusquement libérée et produirait le glitch qui accélère la croûte.

À l'aide des données de l'Observatoire spatial *Swift*, Neil

Gehrels, du Centre Goddard de vol spatial de la NASA, et ses collègues ont détecté un « anti-glitch » qui, au contraire, a ralenti l'étoile à neutrons 1E 2259+586, située à 10 000 années-lumière. La période de rotation, qui diminuait d'environ 12 microsecondes par an, a subi un ralentissement soudain de 2,2 microsecondes supplémentaires. Cette découverte oblige les astronomes à reconsidérer les modèles de la structure des étoiles à neutrons et à envisager des mouvements internes régis par le champ magnétique de l'étoile.

→ S. B.

Nature, vol. 497, pp. 591-593, 2013

Entomologie

Des moustiques insensibles à l'odeur humaine

Certaines espèces de moustiques ont une préférence pour les humains et sont responsables d'épidémies de paludisme et de dengue. Matthew DeGennaro, de l'Université Rockefeller, à New York, et ses collègues ont réussi à supprimer cette préférence chez le moustique *Aedes aegypti*.

Pour repérer leurs proies, les moustiques se fondent notamment sur leur odeur, qu'ils détectent grâce à de multiples



Les moustiques *Aedes aegypti* préfèrent les humains aux animaux.

récepteurs (des protéines membranaires des neurones olfactifs). Outre une partie caractéristique de la molécule cible, nombre de ces récepteurs portent une même chaîne d'acides aminés, nommée Orco.

Les chercheurs ont modifié génétiquement des moustiques pour leur faire produire des chaînes Orco dysfonctionnelles. Les mutants ne détectaient plus l'odeur humaine et ne manifestaient plus de préférence envers les humains – que les moustiques repèrent pourtant par d'autres caractéristiques que l'odeur, telles que le dioxyde de carbone émis par la respiration.

→ G. J.

M. DeGennaro et al., *Nature*, en ligne le 29 mai 2013

Neurobiologie

La molécule anti-grattage

La piqûre d'un insecte ou certaines maladies de peau, tel l'eczéma, provoquent des démangeaisons désagréables. On sait qu'une substance irritante active des récepteurs spécifiques de la démangeaison et situés à la surface des cellules de la peau. Ces récepteurs stimulent les fibres de certains neurones ganglionnaires de la racine dorsale de la moelle épinière. Mais quels sont ces neurones? Santosh Mishra et Mark Hoon, de l'Institut américain de recherches dentaire et craniofaciale, à Bethesda, ont identifié des neurones ganglionnaires qui fabriquent le peptide natriurétique b, noté Nppb. Puis ils ont constaté que des souris génétiquement modifiées pour qu'elles ne produisent pas ce peptide ne réagissent plus aux substances provoquant des démangeaisons: elles ne se grattent plus! En revanche, l'injection de Nppb dans leur moelle épinière entraîne des démangeaisons. Ce peptide stimule alors des interneurons de la moelle épinière, qui activent d'autres neurones transmettant la sensation de démangeaison au cerveau. La démangeaison met ainsi en œuvre des fibres sensorielles spécifiques libérant du Nppb. Si l'on trouve ce neuropeptide chez l'homme, saura-t-on bloquer son activité?

→ Bénédicte Salthun-Lassalle

S. Mishra et M. Hoon, *Science*, vol. 340, pp. 968-971, 2013

Astrophysique

La relativité générale testée sur un système binaire

La théorie de la relativité générale, mise au point par Albert Einstein en 1915, n'a jamais été mise en défaut par l'expérience. Cependant, pour répondre à différentes questions, telle la nature de l'énergie sombre en cosmologie, les physiciens ont conçu des modèles qui sont des extensions de la théorie d'Einstein. Les différences entre ces modèles et la relativité générale sont trop infimes pour être mesurées en laboratoire. Mais un champ gravitationnel intense, comme il en existe dans le cosmos, peut accentuer les effets spécifiques de certains modèles. C'est le cas avec le système binaire PSR J0348+0432 qu'ont étudié John Antoniadis, de l'Institut Max-Planck de Bonn en Allemagne, et ses collègues.

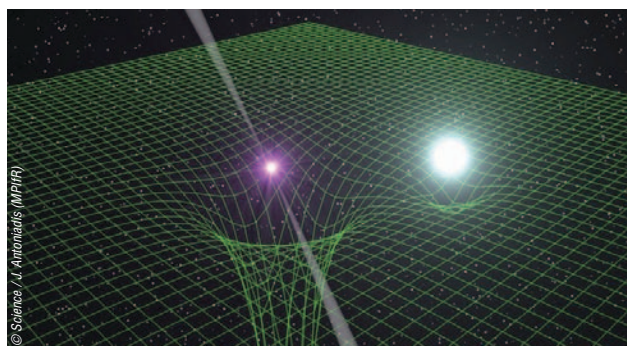
Dans un système binaire, deux étoiles tournent l'une autour de l'autre. Elles se rapprochent peu à peu à cause de l'énergie perdue sous forme d'ondes gravitationnelles – des vibrations de l'espace-temps. La théorie de la relativité générale prévoit la forme de ces ondes et la perte d'énergie associée. Dans certaines extensions de cette théorie, l'énergie emportée par les ondes gravitationnelles diffère, ce qui se traduit par un rapprochement des étoiles et une variation de la période de

révolution plus ou moins importants. Le système binaire étudié par l'équipe de J. Antoniadis est exceptionnel par sa composition. Il est constitué d'une naine blanche et d'un pulsar – une étoile à neutrons en rotation rapide sur elle-même. Les deux étoiles sont distantes de 830 000 kilomètres et tournent l'une autour de l'autre avec une période de révolution de 2,46 heures.

La première étape de l'étude a consisté à mesurer avec précision les caractéristiques des deux astres. Ainsi, le pulsar a une masse double de celle du Soleil et tourne sur lui-même en 39 millisecondes, tandis que la naine blanche pèse 0,172 masse solaire. Une trentaine de paramètres du système binaire ont ainsi été mesurés ou calculés. À partir de ces données, il est possible de déterminer la variation attendue sur la période de révolution du système binaire, dans le cadre de la relativité générale ou d'un autre modèle. La mesure effectuée par J. Antoniadis et ses collègues s'est révélée compatible avec la théorie de la relativité générale, et permet d'éliminer certaines extensions imaginées par les théoriciens.

→ S. B.

Science, vol. 340, n° 6131, 2013



Le système binaire PSR J0348+0432 est formé d'un pulsar (à gauche) et d'une naine blanche (à droite) séparés de 830 000 kilomètres.

Mathématiques

Un théorème pour nombres premiers presque jumeaux

Yitang Zhang, de l'Université du New Hampshire, à Durham aux États-Unis, vient de produire un résultat mathématique qui pourrait ouvrir la voie à la démonstration de la conjecture des nombres premiers jumeaux.

Rappelons qu'un nombre premier est un entier qui n'est divisible que par 1 et par lui-même, et que deux nombres premiers sont dits jumeaux si leur différence est égale à 2 (le minimum). Les paires de nombres 3 et 5, 17 et 19 ou encore $2003\,663\,613 \times 2^{195\,000} - 1$ et $2003\,663\,613 \times 2^{195\,000} + 1$ en

sont des exemples. D'après la conjecture des nombres premiers jumeaux, il existe une infinité de telles paires.

Comme la distance moyenne entre deux nombres premiers augmente, on peut se demander si cette conjecture est vraie. De nombreux mathématiciens ont tenté de la démontrer, sans succès jusqu'ici. Y. Zhang a adopté une nouvelle approche et a réussi à prouver qu'il existe une infinité de paires de nombres premiers dont la différence est inférieure à 70 000 000. Le mathématicien a

choisi cette valeur parce qu'il avait besoin d'un nombre assez grand pour résoudre ses équations. Une différence de 70 000 000 étant très supérieure à 2, le résultat semble assez éloigné du cas des nombres premiers jumeaux. Il est pourtant très encourageant : il montre qu'il existe une infinité de paires de nombres premiers dont l'écart n'augmente pas quand on considère des nombres premiers de plus en plus grands. Reste à montrer qu'on peut réduire cet écart à 2!

→ S. B.

Annals of Mathematics, à paraître, 2013



Lisa Nigam, UMI Photographic Services

Yitang Zhang

Espèces revue d'histoire naturelle

Vente en ligne, abonnements et compléments d'articles sur

www.especes.org



Dans l'eau, dans l'air, sous terre...

Diversité des mammifères

N° 8
JUIN à AOÛT
2013

Revue d'histoire naturelle

Zoologie Botanique Géologie Entomologie Ornithologie Ichtyologie Océanographie Systématique Herpétologie
Géophysique Climatologie Paléontologie Épistémologie Malacologie Primatologie
Génétique Archéologie Ethnologie Mécanique Symphonique
Zoologie Botanique

Espèces est une revue dédiée aux sciences de la vie et de la terre qui donne la parole aux acteurs de la recherche au travers d'articles de fond, de reportages et d'actualités.

Revue trimestrielle publiée par l'association Kynnos publications
7, le Vieux-Chêne - 20225 Avapessa



En vente en kiosque et par correspondance sur www.especes.org

Numéro 7,5 €

Abonnement 1 an (4 numéros) 27 € (scolaires et étudiants 25 €)

Ventes et abonnements : Revue *Espèces*, service client 12 350 Privezac, 05 65 81 54 86, contact@bopress.fr