

8 rue Férou, 75278 PARIS CEDEX 06
Standard : Tel. 01 55 42 84 00

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 Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef : Françoise Pétry

Rédacteur : Sébastien Bohler

L'Essentiel Cerveau & Psycho

Rédactrice : Bénédicte Salthun-Lassalle

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Annie Tacquenot,
Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Site Internet : Philippe Ribeau-Gésippe assisté de Yoan Bassinet

Marketing : Élise Abib

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 : Françoise Combes,
Didier Demolin, Mohammad Heydari-Malayeri,
Évelyne Host-Platret, Nunzio Lanotte, Philippe May,
Christophe Pichon, Patrice Pomey, Sevet Sen,
Rossana Tazzioli, Jean-Philippe Uzan.

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jf.guillotin@pourlascience.fr)

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

Adresse postale :

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 chalets, 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.

SCIENTIFICAMERICAN Editor in chief : Mariette DiChristina. Editors : Ricky Rus-
ting, Philip Yam, Gary Stix, Davide Castelvecchi, Graham Collins, Mark Fischetti,
Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong.
President : Steven Inchcoombe. Vice President : Frances Newburg.

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].



de **Françoise Pétry** directrice de la rédaction

Magie et complexité

« Même quand nous comprenons ce [que les magiciens] font, le processus par lequel ils y sont arrivés nous est inaccessible. Ils n'ont que très rarement, voire jamais, d'élèves, car [...] il doit être terriblement frustrant pour un jeune esprit brillant d'être confronté aux voies impénétrables de l'esprit d'un magicien. Richard Feynman est un magicien d'un niveau exceptionnel. »

Pourquoi Richard Feynman, qui, en 1965, partagea le prix Nobel de physique avec Julian Schwinger et Sin-Itiro Tomonaga, fut-il qualifié de magicien par le mathématicien Mark Kac qui travailla avec lui ? Un magicien réalise ce qui semble impossible avec une apparente facilité. C'est ainsi qu'avec ses colauréats, il travailla à l'élaboration de l'électrodynamique quantique, théorie qui décrit l'interaction électromagnétique des particules chargées. Pour ce faire, il élaborait notamment des figures – les diagrammes qui portent son nom – permettant de représenter et de calculer ces interactions. Toutefois, aussi puissants soient-ils, les diagrammes de Feynman sont devenus insuffisants pour traiter, par exemple, la complexité des interactions des particules dans le LHC, le grand collisionneur de hadrons. Une nouvelle méthode, dite d'unitarité, prolonge celle de Feynman (voir *Boucles et arbres, à la recherche d'une nouvelle physique, page 72*).

La complexité est parfois un atout.

Mais la complexité est parfois un atout, car des propriétés nouvelles peuvent en émerger. C'est le cas notamment dans les sociétés d'insectes sociaux – fourmis ou termites, par exemple –, où le chaos semble régner, mais d'où naissent des constructions dont les plans n'ont rien à envier à ceux d'architectes rigoureux et organisés (voir *L'art de la construction chez les insectes sociaux, page 28*). Dans un autre domaine, celui de l'Univers, l'étude des interactions complexes du trou noir situé au centre de la Voie lactée avec son environnement révèle que ce monstre, ni trop vorace ni trop repu, aurait favorisé l'apparition de conditions propices à la vie sur Terre (voir *Les bienfaits des trous noirs, page 22*). La vie serait-elle une propriété émergente des systèmes cosmiques complexes ?

Le cerveau est aussi un système complexe, et la conscience en est une propriété émergente. Sans doute en est-il de même pour les pièges de la conscience, les illusions. Et, pour revenir à Richard Feynman, s'il fut un magicien de la complexité, sa contribution à la physique fut loin d'être une illusion.

1 **ÉDITO**4 **BLOC-NOTES**

Didier Nordon

Actualités

6 **Premiers succès
pour *Curiosity***7 **Vers la pilule
pour les hommes ?**9 **Des mémoires
ferroélectriques
pour bientôt ?**13 **L'aile optimale du criquet
... et bien d'autres sujets.**14 **ON EN REPARLE**

Opinions

16 **POINT DE VUE**
**L'imagerie cérébrale
au tribunal ?**
Olivier Oullier17 **DÉVELOPPEMENT DURABLE**
**L'eau comptabilisée
à l'échelle européenne**
Philippe Crouzet21 **VRAI OU FAUX**
**Les *Mac* résistent-ils mieux
aux virus que les *PC* ?**
Jean-Yves Marion

Ce numéro comporte deux encarts d'abonnement *Pour la Science* et un encart « lunettes 3D » brochés sur la totalité du tirage ; une édition spéciale comportant un courrier posé en 4^e de couverture est envoyée à 700 lycées en France métropolitaine.
En couverture : © Kenn Brown, Mondolithic Studios

À LA UNE

22 **ASTROPHYSIQUE**
Les bienfaits des trous noirs

Caleb Scharf

Le monstre supermassif qui engloutit de la matière au centre de la Voie lactée a peut-être joué un rôle clef dans l'apparition de conditions propices à la vie dans notre région de la Galaxie.

28 **ÉTHOLOGIE**
**L'art de la construction
chez les insectes sociaux**

Guy Théraulaz, Andrea Perna et Pascale Kuntz

Les termitières et les fourmilières sont des prouesses architecturales. Pourtant, chaque ouvrier bâtisseur n'a qu'une perception locale du nid qu'il construit. Des modèles simples révèlent leurs secrets.

Portfolio 3D

Lunettes en page 28

36 **ÉTHOLOGIE**
**Voyage au centre des termitières
et des fourmilières**

G. Théraulaz, F. Picarougne et Ch. Jost

Grâce à la tomographie à rayon X et à une reconstitution informatique, des éthologues visitent virtuellement les galeries de ces nids à l'architecture remarquable. Voici les premières images de leur voyage. À vos lunettes 3D !

44 **ARCHÉOLOGIE**
**Les mégalithes
de Sumatra**

Dominik Bonatz

Les mégalithes des hautes terres de Sumatra, que l'on croyait néolithiques comme ceux d'Europe, témoignent en fait des intenses échanges entre les tribus de la forêt et les royaumes bouddhiques du Moyen Âge indonésien.



52 TECHNOLOGIE

Hélium : la pénurie menace

Christian Gianese

L'hélium, indispensable pour de multiples applications, obéit à des contraintes de production et de distribution complexes. Un contexte aujourd'hui si tendu que ce gaz inerte manque déjà.



60 IMMUNOLOGIE

Système immunitaire contre cancer

Eric von Hofe

Et si notre meilleur allié contre le cancer était... notre propre organisme ? Des traitements visant à apprendre au système immunitaire à reconnaître et à combattre les tumeurs sont en cours de développement.

66 LINGUISTIQUE

Les langues du monde : un même débit d'information

Fr. Pellegrino, Ch. Coupé et E. Marsico

Le débit de parole varie selon les langues, mais plus il est rapide, moins chaque syllabe véhicule d'information. Ainsi la vitesse de transmission de l'information est à peu près la même pour toutes les langues.

72 PHYSIQUE THÉORIQUE

Boucles et arbres, à la recherche d'une nouvelle physique

Zvi Bern, Lance Dixon et David Kosower

On calcule les probabilités des processus impliquant les particules élémentaires à l'aide de diagrammes dits de Feynman. Une nouvelle méthode simplifie ces calculs et remet au goût du jour certaines théories unificatrices.



Regards

80 HISTOIRE DES SCIENCES

Les multiples ancêtres du jeu de Nim

Lisa Rougetet

Le jeu de Nim, un jeu numérique simple, a fourni, au début du XX^e siècle, les bases de la théorie des jeux combinatoires.

86 LOGIQUE & CALCUL

La suite de Stern-Brocot, sœur de Fibonacci

Jean-Paul Delahaye

Si la définition de la suite diatomique de Stern est simple, sa structure est riche de propriétés.

92 SCIENCE & FICTION

Pourquoi tant de grosses têtes dans la science-fiction ?

Jean-Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

94 ART & SCIENCE

Les objets impalpables dans l'espace

Loïc Mangin

96 IDÉES DE PHYSIQUE

Les torches à plasma

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

101 SCIENCE & GASTRONOMIE

Conserver les vins au frais

Hervé This

102 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.

→ FAUX PAS

Le pas qu'a fait Neil Armstrong en juillet 1969, lorsqu'il a posé le pied sur la Lune, fut petit pour lui, mais immense pour l'humanité. Le pas qu'il a franchi en août 2012, lors de son décès, fut immense pour lui, mais petit pour l'humanité : quoi de plus banal, à l'échelle de celle-ci, que de mourir ?

Grâce au pas d'Armstrong sur la Lune, on en sait plus sur la Lune. Malgré son pas dans la mort, on n'en sait pas plus sur la mort.

Le pas le plus immense dont l'humanité puisse rêver serait d'accéder enfin à une connaissance rationnelle sur ce qui advient après la mort. Ce pas-là – on pourra marcher sur la Lune tant qu'on voudra – reste interdit.



→ RELATIVITÉ PARTICULIÈRE

Les sociologues des sciences les plus radicaux ne vont pas jusqu'à expliquer les différences entre la théorie classique de la gravitation et la théorie relativiste par les différences de personnalités entre Newton et Einstein. Même si tout savoir est marqué par les conceptions du temps et du lieu où il voit le jour, on ne lui attribue le nom de théorie scientifique que s'il a un minimum indiscutable d'indépendance par rapport aux personnes qui l'ont établi.

Il est douteux que les théories économiques aient ce minimum d'indépendance. Un libéral et un altermondialiste, par exemple, ne hiérarchisent de la même façon ni les facteurs ni la priorité des maux à traiter. Ce qui est théorie aux yeux de l'un est pure idéologie aux yeux de l'autre. L'expression « théorie économique » signifie (soyons un brin polémique !) : « C'est mon point de vue, et je m'y tiens. »

Quant à la famille, c'est un sujet sur lequel aucune réflexion n'est indépendante de son auteur. Un être humain ne peut pas penser la famille en faisant abstraction de ce qui l'a déterminé au plus profond : sa propre famille, avec laquelle (ou contre laquelle) il s'est éveillé au monde. Quand les gens favorables à l'adoption par les couples homosexuels et les tenants de la famille « traditionnelle » se combattent, ce sont des ressentis personnels qui s'opposent, non des théories entre lesquelles des arguments permettent de trancher. Il n'y a pas de théories de la famille discriminant ce qui est souhaitable et ce qui ne l'est pas, mais des constructions individuelles rationalisant des attitudes engendrées par des vécus eux aussi individuels.

→ DRONE D'HISTOIRE

La technologie nécessaire aux drones étant désormais au point, nous allons pouvoir remplacer nos voitures par des drones terrestres. Ces voitures automatisées éviteront mieux que nous les fausses manœuvres, d'où une meilleure sécurité.

Actuellement, la plupart des voitures n'ont d'autre occupant que le conducteur. Devenues drones, elles circuleront vides, puisque le conducteur sera inutile. Il n'y aura donc personne dedans pour s'énervier dans les embouteillages. Nous marcherons tranquillement sur le trottoir en les contemplant de l'extérieur. Et nous tiendrons des

propos amusés sur l'absurdité de la situation à laquelle sa passion pour l'automobile conduit notre civilisation...



→ PETIT DERNIER

Deux termes désignent le lien plus ou moins passionnel qu'un homme entretient avec son pays : patriotisme, nationalisme. Mais il n'y en a aucun pour désigner le lien qu'il entretient avec son époque. Pourtant, un homme est attaché à elle autant qu'à son pays. Détester tout de son époque ferait de lui un inadapté, de même que détester tout de son pays. Forger des analogues temporels aux mots patriotisme et nationalisme s'impose donc.

Le terme « tempisme », pour désigner le fait d'aimer son temps, serait confondu avec « tantpisme » : rejetons-le. Écartons aussi « époquisme », qui serait parasité par la connotation « vieillerie ». Je suggère « chronisme ». Ce mot n'existe pas non plus, mais il apparaît dans beaucoup de composés (anachronisme, synchronisme, etc.), manifestant ainsi un évident désir de naître. Il s'impose donc pour dénommer une notion qui, tout comme lui, n'existe pas, mais ne demande qu'à naître. Quant à l'amour exclusif, excessif, d'un homme pour son époque, je propose « hyperchronisme ». L'hyperchronisme est au chronisme ce que le nationalisme est au patriotisme.

Peut-être objectera-t-on que, le patriotisme et le nationalisme ayant contribué à trop de malheurs, il n'est pas avisé de leur adjoindre des équivalents temporels.

Reproche infondé : on ne peut pas, au nom de l'hyperchronisme, déclarer la guerre à quelque époque révolue et y commettre des atrocités. Du moins, tant que la machine à remonter le temps n'est pas au point...

→ PRISE DE E-POUVOIR

On peut regarder dix fois, cent fois, un même article d'un dictionnaire papier. Celui-ci, avec une patience d'ange, répète dix fois, cent fois, le renseignement qu'il a déjà fourni. Cette pédagogie est la plus mauvaise qui soit. On n'est pas incité à retenir ce qu'on lit, si on est certain de le retrouver dans le dictionnaire dès qu'on veut.

Le salut viendra des dictionnaires électroniques. Programmons-les pour que, au bout de trois consultations d'un article, celui-ci s'efface à jamais. L'utilisateur peut donc consulter l'article, l'oublier, le consulter une deuxième fois, l'oublier encore. À la troisième reprise, le dictionnaire avertit : « Vous consultez cet article pour la dernière fois. Faites enfin l'effort de mémoriser ce que vous lisez. » Il ajoute une tirade de longueur et de sévérité proportionnelles au nombre d'articles qu'il a déjà effacés : « Je n'ai jamais vu un utilisateur aussi nul que vous. » Pour s'éviter l'humiliation d'une telle remontrance, l'utilisateur aiguillonnera sa mémoire, laquelle, à force d'être ainsi stimulée, deviendra peut-être – qui sait ? – aussi puissante que celle dont ont joui nos ancêtres avant l'expansion de l'écriture. ■



Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

la plus importante collection d'instruments de travail
pour la recherche en sciences humaines



**Dictionnaire des sculpteurs
neo-baroques français
(1870-1914)**
Guillaume Peigné

560 pages
12 x 18 cm
ill. n. et b.
16 €



**Guide des sources
de l'histoire de l'art
aux Archives nationales
et aux Archives de Paris**
Sous la direction de Martine Plouvier

784 pages
17 x 22 cm
ill. couleur et n. et b.
35 €



On est tous dans le brouillard
Essai d'ethnologie urbaine
Colette Pétonnet
Réédition établie par Catherine Choron-Baix

544 pages
12 x 18 cm
ill. n. et b.
16 €

* ventes@cths.fr * vente en librairie ou sur notre site : www.cths.fr * Distribution SODIS *

Planétologie

Premiers succès pour *Curiosity*

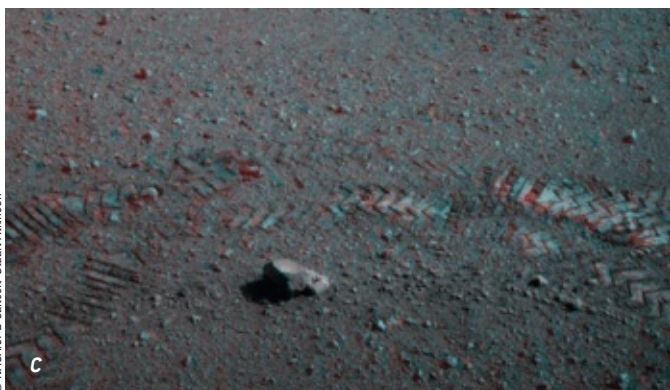
Le rover de la NASA a testé son laser et a parcouru ses premiers mètres sur le sol martien.



© NASA/JPL-Caltech/Ken Kramer/Marco Di Lorenzo



© NASA/JPL-Caltech



© NASA/JPL-Caltech/Stuart Atkinson

Le mont Sharp culmine à cinq kilomètres au-dessus du fond du cratère Gale, où s'est posé *Curiosity* (a). Les strates rocheuses à la base du mont Sharp sont très similaires à celles visibles dans le Grand Canyon sur Terre (b). *Curiosity* a fait ses premiers « pas » sur la planète rouge (c, en 3D avec les lunettes anaglyphes à détacher page 28).

Depuis son atterrissage périlleux sur la planète rouge le 6 août dernier, le robot *Curiosity* de la NASA a commencé à tester ses différents instruments et systèmes de navigation, envoyant ses premières images du cratère Gale où il s'est posé.

Le rover, le plus gros engin jamais posé sur Mars, est équipé de 12 instruments scientifiques (dont deux réalisés par des équipes françaises) : des spectromètres, des caméras, des minilaboratoires d'analyse... L'objectif de la mission *Mars Science Laboratory* est d'examiner l'environnement du cratère Gale à la recherche d'indices liés à la présence passée ou présente d'environnements propices à la vie.

Dans cet ancien cratère d'impact de 150 kilomètres de diamètre, l'érosion éolienne et des impacts récents ont en effet exposé des matériaux autrefois enterrés, tels d'anciens dépôts fluviaux et des terrains fracturés riches en minéraux.

Le cratère est dominé par un pic central, le mont Sharp, qui culmine à plus de 5000 mètres au-dessus des plaines environnantes (cliché a). Il est constitué de strates de roches sédimentaires qui, lues de haut en bas, fourniront une chronologie de la jeunesse de la planète. Elles pourraient notamment livrer des signatures événementielles de vie passée.

D'ici quelques mois, *Curiosity* entamera l'ascension du mont Sharp. Pour l'heure, le robot a seulement effectué ses premiers pas, en testant virage et marche arrière

(cliché c, en 3D). Il a ensuite parcouru une vingtaine de mètres vers sa première destination, un site nommé Glenelg.

L'instrument franco-américain *ChemCam*, un laser couplé à des spectromètres, a également passé les tests avec succès. Le laser a d'abord été pointé sur une petite pierre – nommée Couronnement. Trente impulsions de cinq nanosecondes et d'un mégawatt de puissance ont porté la surface de la roche à 8000 °C, vaporisant une petite zone de sa surface en un plasma dont le spectre lumineux a été analysé.

Une seconde roche a subi le même sort quelques jours plus tard. Selon Sylvestre Maurice, responsable de l'instrument *ChemCam* à l'IRAP, à Toulouse, « les données sont encore plus précises que celles récoltées sur Terre ». En analysant les roches jusqu'à neuf mètres de distance, *ChemCam* permettra de sélectionner les plus intéressantes et d'étudier celles inaccessibles au robot.

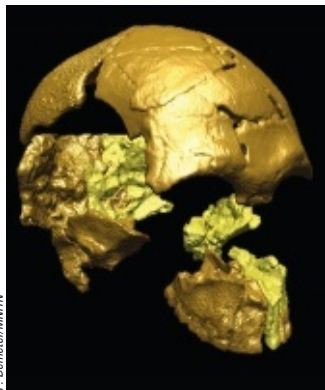
Il reste cependant plusieurs points critiques à tester avant que le robot ne s'aventure loin du site d'atterrissage, nommé Bradbury Landing par la NASA en hommage au célèbre auteur des *Chroniques martiennes*, décédé en juin dernier. Il s'agit notamment de manipuler le bras articulé pour récupérer des échantillons, un point clef de la mission scientifique.

→ **Philippe Ribeau-Gésippe**

Mission Mars Science Laboratory :
www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html

Paléontologie humaine

Le plus ancien Asiatique moderne



Le crâne partiellement reconstruit à partir des restes mis au jour au Nord du Laos est celui d'un homme moderne vieux de 63 000 ans.

La dispersion des hommes anatomiquement modernes en Eurasie et en Australasie n'a commencé qu'il y a 80 000 ans et a duré environ 50 000 ans. Si les dates jalonnant cette conquête sont étayées pour l'Europe, elles prêtent à discussion pour l'Asie. Mais la situation s'améliore depuis que Fabrice Demeter, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, et son équipe ont mis au jour un fossile d'humain moderne au fond de la grotte de Tam Pa Ling, au Nord du Laos. La radiodation directe, par le rapport isotopique uranium/thorium, de ces restes – un frontal complet, un fragment d'os occipital, un fragment d'os temporal et un maxillaire – indique un âge minimum de 63 000 ans. Selon F. Demeter, le crâne de l'homme de Tam Pa Ling présente une morphologie moderne dans ses caractères frontaux, occipitaux et maxillaires, et se différencie nettement de ceux des Néandertaliens de l'Ouest de l'Asie. Le fossile de Tam Pa Ling est donc le témoin d'une population d'hommes modernes, qui a investi le Sud de l'Asie il y a quelque 60 000 ans.

→ François Savatier

F. Demeter et al., PNAS, en ligne le 20 août 2012

En bref

PUNAISES HÉLIONETTOYÉES

Au soleil, les punaises *Boisea rubrolineata* dégagent une forte odeur, qui provient de molécules à la surface de leur cuticule, des monoterpènes. La biosynthèse de ces composants est activée par la lumière. Gerhard Gries, de l'Université Simon Fraser, au Canada, a montré que ces molécules agissent comme un fongicide, en particulier contre le champignon pathogène *Beauveria bassiana*, en empêchant la germination des spores et leur croissance.

LES PIEDS DANS LE TAPIS

Pour amortir la chute, rien de mieux qu'un tapis... mais pas n'importe lequel : celui conçu à l'Université de Manchester par l'équipe de Patricia Scully est parcouru de fibres optiques qui enregistrent les signaux laissés par les pas d'une personne. Un ordinateur peut analyser cette démarche, détecter une chute et déclencher un appel d'aide. Ce tapis a aussi un rôle préventif, il peut déceler des altérations de la démarche d'une personne âgée qui indiquent une détérioration de son équilibre.

POURQUOI NEUF MOIS ?

Après neuf mois de gestation, les bébés humains ont des capacités motrices et cognitives limitées. Pourquoi la gestation n'est-elle pas plus longue ? La taille du bassin est souvent invoquée : le fœtus serait plus gros, nécessitant un bassin plus large de la mère, ce qui compromettrait la bipédie. L'anthropologue américaine Holly Dunsworth avance une autre théorie : le métabolisme de la mère ne suffirait pas pour nourrir correctement un fœtus au-delà de neuf mois.

Physiologie

Vers la pilule pour les hommes ?

Depuis la mise au point de la pilule (hormonale) pour les femmes, aucune approche nouvelle de la contraception n'a été proposée. Son équivalent pour les hommes n'existe pas, alors que dans les pays développés, près d'un homme sur deux se dit prêt à prendre une pilule contraceptive, si elle était disponible. Un pas vient cependant d'être franchi vers une pilule masculine et non hormonale par l'équipe de Martin Matzuk, de la Faculté de médecine Baylor à Houston aux États-Unis, et celle de James Bradner, à Boston.

Dans leurs travaux, qui portent sur la souris, ces chercheurs ont synthétisé une petite molécule, JQ1, capable de se fixer sur la protéine BRDT, une molécule essentielle au développement des spermatozoïdes, et de bloquer ainsi son action. La molécule JQ1 se révèle capable de stériliser les souris mâles, de façon réversible et sans effets indésirables. L'injection quotidienne de JQ1, pendant six semaines, à des souris mâles initialement âgées de six semaines a ainsi divisé par 9 le nombre de



La molécule JQ1 (*cartouche*) synthétisée par des chercheurs américains bloque chez la souris l'action de la protéine BRDT, essentielle à certaines étapes de la maturation des spermatozoïdes.

leurs spermatozoïdes et par 17 (de 85 à 5 pour cent) la proportion de spermatozoïdes mobiles. Pendant la durée du traitement, les niveaux d'hormones des souris n'ont pas changé et leur comportement sexuel n'a pas été altéré. Enfin, quatre mois après l'arrêt des injections de JQ1, la fertilité des mâles est revenue à la normale.

La protéine BRDT étant aussi présente chez l'homme, la molécule JQ1 pourrait être testée chez ce dernier. Et d'autres molécules

inhibant le développement ou la mobilité des spermatozoïdes sont à l'étude. En attendant, selon Jean-Claude Soufir, de l'Hôpital Cochin à Paris, la contraception masculine sera d'abord hormonale : plusieurs contraceptifs à base de testostérone font déjà l'objet d'essais cliniques avancés, ce qui est loin d'être le cas des molécules non hormonales.

→ Maéva Vignes

M. M. Matzuk et al., Cell, vol. 150, pp. 673-684, 2012

En bref

LA MÈRE DU SOLEIL

D'où vient l'aluminium 26 présent dans les météorites les plus anciennes du Système solaire ? On a longtemps pensé à une supernova qui aurait explosé près du Soleil lors de sa formation. S'appuyant sur l'observation de la formation d'étoiles jeunes, Matthieu Gounelle, du Muséum à Paris, et Georges Meynet, de l'Observatoire de Genève, ont proposé un scénario moins exceptionnel : une étoile géante aurait accumulé dans son voisinage de grandes quantités d'hydrogène, qui auraient fait naître d'autres étoiles dont le Soleil, et l'aluminium 26 aurait été apporté par son vent stellaire.

TIGRES EN ÉQUIPE DE NUIT

Les quelque 120 tigres qui vivent dans le Parc national de Chitwan, au Népal, ont acquis des habitudes nocturnes pour mieux éviter les humains, tout en empruntant les mêmes pistes qu'eux. C'est ce qu'ont constaté Jianguo Liu, de l'Université de l'État du Michigan, et ses collègues américains et népalais. Ainsi, la préservation des tigres ne nécessiterait pas forcément de grands territoires vierges de présence humaine.



L'intérieur de la carène du bateau romain d'Antibes est dans un très bon état de conservation, dû aux conditions anaérobies régnant sous la vase du port.

Entomologie

Photosynthèse archaïque chez les pucerons

Pourquoi les pucerons verts du pois (*Acyrtosiphon pisum*) produisent-ils en abondance des caroténoïdes – des molécules dérivées du carotène, ce pigment qui donne leur couleur aux carottes ? Parce qu'ils l'utilisent comme source d'énergie dans un processus proche de la... photosynthèse. Jean-Christophe Valmalette, à l'Université Sud Toulon-Var, et ses collègues sont parvenus à cette conclusion en mesurant chez ces insectes la production d'ATP, la molécule qui, chez tous les organismes vivants, fournit l'énergie chimique nécessaire au métabolisme.

Si nombre d'organismes utilisent les caroténoïdes dans leur métabolisme, seuls les plantes, les algues et les champignons en produisent, et les animaux s'en procurent par leur alimentation. C'est du moins ce que l'on pensait jusqu'à ce que l'étude du génome des pucerons, en 2010, montre qu'ils en synthétisent aussi – et en quantité. Intrigués, les entomologistes ont testé différentes fonctions physiologiques chez l'insecte. Ils se sont aperçus avec surprise qu'en présence de lumière, les pucerons produisaient beaucoup plus d'ATP que dans l'obscurité, et que cette production était d'autant plus importante qu'ils synthétisaient plus de caroténoïdes.

Le mécanisme en jeu serait un ancêtre de la photosynthèse : en activant les caroténoïdes, la lumière déclencherait la production d'électrons libres qui seraient transférés à la machinerie de production de l'ATP, dans les mitochondries. Par ce méca-



Un puceron du pois se nourrissant de sève.

nisme, les pucerons engrangeraient de l'énergie pour les périodes de disette ou de surpopulation.

Et pourquoi les pucerons verts du pois ne sont-ils pas orange, comme les carottes ? Certains le sont. Les caroténoïdes sont des pigments de diverses couleurs. Dominante sous les conditions optimales (22 °C, ressources abondantes, population peu dense), la pigmentation orange laisse place à une teinte verte à basse température (8 °C). Les pucerons deviennent blancs lorsque les ressources se raréfient et que la population se densifie.

→ Marie-Neige Cordonnier

J.-Ch. Valmalette et al., *Scientific Reports*, vol. 2, n° 579, 2012

Archéologie

Un bateau romain à Antibes

En 49 avant notre ère, César prend Massalia (Marseille) et lui enlève ses colonies, dont Antipolis (Antibes) qui, très vite, devient une cité portuaire romaine très active. Fouillée avant la construction d'un parking souterrain, une partie du fond du port antique d'Antibes a livré une moitié très bien conservée – un long fragment de la carène – d'un gros bateau marchand romain.

Long d'une vingtaine de mètres, le navire mis au jour a coulé au I^{er} ou au II^e siècle. Seul l'un de ses flancs a été conservé par les conditions humides et anaérobies régnant sous la vase

du port. Sur 14 mètres, la quille et les membrures ainsi qu'un bordé ont été bien préservés ; en revanche, le massif d'emplanture du mât – qui devait être encastré sur deux blocs posés sur les membrures – est absent.

Giulia Boetto, spécialiste de l'architecture navale antique du CNRS, qui suit cette partie des fouilles menées par l'INRAP, a tout de suite reconnu un cas de construction gréco-romaine, typique des bateaux antiques de l'espace méditerranéen.

Les virures, c'est-à-dire les planches qui constituent le bordé, sont jointes bord à bord et liées les unes aux autres par des mil-

liers de languettes de bois dur, généralement en chêne. Ces languettes sont introduites dans des mortaises (fentes) taillées au ciseau dans la tranche de chaque virure, puis bloquées par des chevilles. Ainsi, les membrures constituant le squelette du bateau ne jouent qu'un rôle secondaire dans cette architecture où le bordé est la structure principale. Cette « construction sur bordé », qui commence par la « peau » pour finir par le squelette du bateau, se déroule dans l'ordre inverse de la « construction sur squelette », qui caractérise l'architecture navale en bois actuelle.

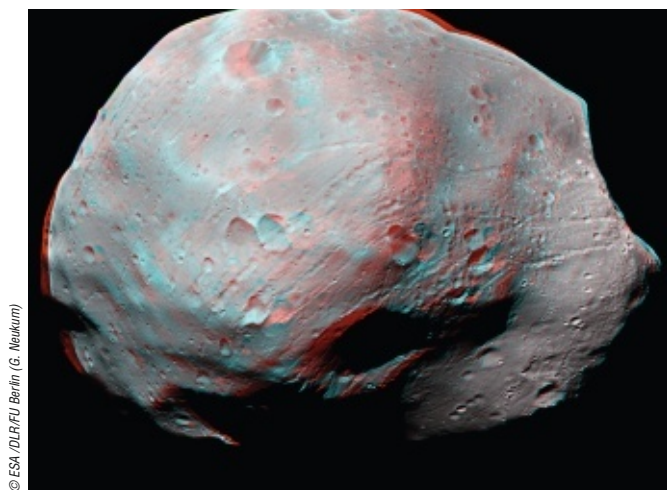
→ F.S.

Planétologie

Phobos en relief

Le 18 août 1877, l'astronome américain Asaph Hall découvrait Phobos et Deimos, les deux satellites naturels de Mars. À l'occasion de ce 135^e anniversaire, l'Agence spatiale européenne publie cette vue en 3D (avec lunettes anaglyphes) de Phobos, acquise par la sonde *Mars Express*. L'origine de cette lune de 27 kilomètres de longueur n'est pas encore claire. Son spectre suggère une composition semblable à celle des météorites de type C, provenant des marges de la ceinture d'astéroïdes. Mais les derniers survols par la sonde *Mars Express* ont permis de préciser sa densité : avec 1,85 gramme par centimètre cube, Phobos ressemble plutôt aux astéroïdes de classe D, des agrégats de roches liés par la gravité. La petite lune serait ainsi un astéroïde capturé par Mars. Cependant, elle décrit une orbite très circulaire et dans le plan équatorial de Mars, alors que des lunes capturées ont souvent des orbites excentriques et inclinées. Une exploration *in situ* permettrait de trancher ; hélas, toutes les missions vers Phobos se sont soldées par un échec, le dernier en date étant celui de *Phobos-Grunt*, en 2011.

→ Ph. R.-G.



© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

Biologie animale

Les cris des gibbons

Les humains ne sont pas les seuls à avoir une voix qui monte vers les aigus lorsqu'ils respirent de l'hélium. Hiroki Koda, de l'Université de Kyoto, et ses collègues ont analysé le cri des gibbons sous hélium et sous une atmosphère normale. Comme chez l'homme, l'inhalation d'hélium modifie les résonances dans le système vocal, la vitesse du son étant changée. L'énergie acoustique se distribue dans les hautes fréquences, d'où une voix plus aiguë. Mais le son reste formé des mêmes fréquences (une fondamentale et des harmoniques), ce qui confirme que la source (les cordes vocales) est indépendante du filtre (le conduit vocal). En l'absence d'hélium, les singes concentrent l'énergie acoustique sur la fréquence fondamentale, à l'instar des chanteuses soprano. Le son résultant porte loin, un atout dans les forêts denses où vivent les gibbons.

→ Guillaume Jacquemont

H. Koda et al., *American Journal of Physical Anthropology*, en ligne le 24 août 2012

Physico-chimie

Des mémoires ferroélectriques pour bientôt ?

Un matériau ferroélectrique contrôlé à température ambiante pourrait offrir une alternative plus performante aux matériaux magnétiques utilisés dans les disques durs. Or une nouvelle famille de matériaux ferroélectriques a été mise au point par Alok Tayi et Alexander Shveyd, de l'Université Northwestern, aux États-Unis, et leurs collègues.

Actuellement, dans un disque dur, chaque bit d'information est codé en appliquant un champ magnétique à un composé ferromagnétique, c'est-à-dire qui s'aimante en présence d'un champ magnétique. Le champ oriente l'aimantation selon deux directions privilégiées, qui correspondent aux deux valeurs (0 ou 1) du bit.

L'application d'un champ magnétique exigeant de l'énergie, les physico-chimistes tentent de remplacer les composés magnétiques par des matériaux ferroélectriques qui, contrôlés *via* un champ électrique, devraient être moins énergivores. Constitués de molécules formant des dipôles électriques parallèles, ces matériaux ont une polarisation électrique stable qu'un champ électrique peut inverser : ses deux orientations pourraient coder un bit.

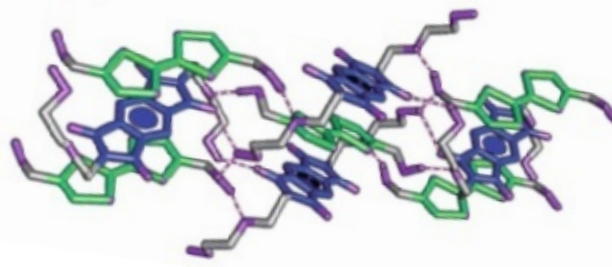
Mais jusqu'à présent, de tels matériaux ferroélectriques ne fonctionnaient qu'à très basse température. Les matériaux de la nouvelle famille sont en revanche contrôlables à température ambiante.

Deux types de molécules sont en jeu : une molécule « donneuse » (dérivée de naphthalène, de pyrène ou de tétrathiafulvalène) transfère des électrons à une molécule « accepteuse » (diimide pyromellitique). En contrôlant la façon dont ces molécules s'emboîtent, les physico-chimistes ont créé des structures supramoléculaires où tous les dipôles ont la même orientation et dont la polarisation s'inverse dans un champ électrique.

Réalisés à partir de composants simples et peu coûteux, les dipôles s'organisent en longues chaînes que l'on fait croître à l'environnement sur divers supports. Des applications sont envisagées dans divers domaines tels que les capteurs ou la photonique. Ces matériaux ayant aussi de faibles propriétés magnétiques, ils laissent espérer des matériaux à la fois ferroélectriques et ferromagnétiques, qui stockeraient quatre fois plus d'informations si ces propriétés étaient contrôlées indépendamment.

Mais le Graal de ces matériaux est peut-être encore ailleurs, explique Éric Collet, de l'Institut de physique de Rennes : le délai d'établissement du champ limite le contrôle des matériaux à un ou deux milliards d'opérations par seconde. En adaptant le matériau ferroélectrique pour le contrôler par de la lumière, on réaliserait 1 000 fois plus d'opérations.

→ M.-N. C.

A. Tayi et al., *Nature*, vol. 488, pp. 485-489, 2012A. Tayi et al., *Nature*, 2012

La structure cristalline d'un des matériaux ferroélectriques réalisés, constitué d'un accepteur d'électrons à base de diimide pyromellitique (en bleu) et d'un donneur d'électrons dérivé du tétrathiafulvalène (en vert).

Neurobiologie

Alzheimer : un modèle naturel

Adrian Palacios, à l'Université de Valparaíso au Chili, et ses collègues chiliens, américains et français ont montré qu'un petit rongeur, le dégu du Chili (*Octodon degus*), pourrait bien aider la recherche : quatre animaux sur cinq développent naturellement – avec l'âge et sans aucune modification génétique – une maladie d'Alzheimer et constitueraient donc de bons modèles d'étude de cette pathologie. Avec l'âge (entre 36 et 60 mois), des plaques séniles et des dégénérescences neurofibrillaires s'accumulent dans le cerveau du rongeur, selon des schémas temporel et spatial identiques à ceux de l'homme. Et le déclin des capacités cognitives des dégu, en particulier une diminution de leur mémoire spatiale et de leur aptitude à reconnaître des objets, est lié au développement des lésions et à leur propagation. Les scientifiques ont également confirmé le dysfonctionnement des synapses et de leur plasticité, ainsi que la diminution de la quantité de protéines postsynaptiques – avant la dégénérescence des neurones. Ils concluent que le dégu du Chili représente un modèle idéal pour l'étude des étapes précoces de la maladie d'Alzheimer sporadique et le développement de thérapies.

→ **Bénédicte Salthun-Lassalle**

A. O. Ardiles et al., PNAS, en ligne le 6 août 2012



Linguistique

Le berceau indo-européen

Les langues indo-européennes forment une vaste famille, incluant notamment les langues celtiques, germaniques, latines et indo-iraniennes. Selon Remco Bouckaert, de l'Université d'Auckland en Nouvelle-Zélande, et ses collègues, elles seraient originaires d'Anatolie, dans l'actuelle Turquie, et non du Nord de la mer caspienne, en Russie, comme le stipulait une hypothèse concurrente.

Les chercheurs ont analysé 103 langues indo-européennes en adaptant des méthodes dites phylogéographiques, utilisées pour étudier l'origine et la progression des épidémies virales. Ces méthodes déterminent les relations de parenté entre les ADN viraux de différentes régions – ici, entre des mots traduits dans les différentes langues – et intègrent des critères géographiques sur les voies possibles de dissémination. Les chercheurs ont ainsi reconstitué l'expansion des langues indo-européennes. Les trajets mis en évidence concordent avec l'expansion de l'agriculture, de sorte que les deux phénomènes sont probablement liés. Les langues indo-européennes auraient pour origine géographique l'Anatolie, il y a 9 500 à 8 000 ans.

→ **G. J.**

R. Bouckaert et al., Science, vol. 337, pp. 957-960, 2012

Cosmologie

L'Univers n'est pas fractal à grande échelle

Le modèle du Big Bang, qui décrit l'évolution de l'Univers depuis une fraction de seconde après sa naissance jusqu'à aujourd'hui, repose sur deux hypothèses fondamentales : l'Univers est homogène et isotrope à grande échelle. Le premier critère indique que les propriétés de l'Univers sont les mêmes d'un endroit de l'espace à un autre, tandis que le second stipule qu'elles sont identiques dans toutes les directions. Morag Scrimgeour, du Centre international de recherche en radio-astronomie en Australie, et ses collègues ont utilisé le catalogue de galaxies observées par l'expérience WiggleZ pour vérifier l'homogénéité de l'Univers aux grandes échelles.

L'homogénéité n'est en effet pas vérifiée à toutes les échelles. Nous observons des structures évidentes : galaxies, amas de galaxies ou superamas de galaxies. Cette organisation persiste-t-elle à toutes les échelles, comme dans les objets fractals, ou une transition s'opère-t-elle à très grande échelle vers un Univers qui semble homogène ? Dans ce dernier cas, les structures apparentes à petite échelle sont lissées aux échelles plus grandes, de la même façon que les pixels d'une image sont visibles individuelle-

ment si on regarde d'assez près, mais renvoient une impression d'ensemble homogène quand on prend du recul.

M. Scrimgeour et ses collègues ont sélectionné 180 000 galaxies du catalogue établi par l'expérience WiggleZ, conduite avec un télescope anglo-australien. Ils ont étudié l'homogénéité de l'Univers tel qu'il est aujourd'hui et tel qu'il était à différentes époques passées. La méthode consiste à compter le nombre de galaxies dans une sphère de volume donné (centrée sur une galaxie), et à déterminer à partir de quel rayon ce nombre est proportionnel au volume de la sphère (au cube du rayon, ou à une puissance non entière pour une théorie plus générale reposant sur un modèle fractal). Ils ont aussi utilisé une simulation à N corps modélisant l'évolution de l'Univers et la formation des grandes structures pour valider leur méthode. Ces deux approches ont livré des résultats équivalents : ils sont compatibles avec un Univers homogène aux échelles comprises entre 350 et 1 400 millions d'années-lumière, ce qui conforte l'une des hypothèses clefs de la théorie du Big Bang.

→ **Sean Bailly**

M. I. Scrimgeour et al., MNRAS, vol. 425(1), pp. 116-134, 2012



Des centaines de galaxies, observées ici par *Hubble*, forment des amas et des superamas, mais jusqu'à quelle échelle existe-t-il de telles structures ?

Nanotechnologies

Des nanoparticules d'or sculptées par l'ADN

Zidong Wang et ses collègues, de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign et de l'Université de Pékin, ont montré que de l'ADN peut contrôler la morphologie de nanoparticules d'or. Dans une solution aqueuse, ils ont introduit des nanocristaux d'or et de courts brins d'ADN de taille fixée, mais de séquence variée. Selon leur composition, ces brins d'ADN se lient préférentiellement sur certaines surfaces des nanocristaux. Quand, en présence de sels d'or, on fait croître les cristaux jusqu'à former des nanoparticules, ces der-

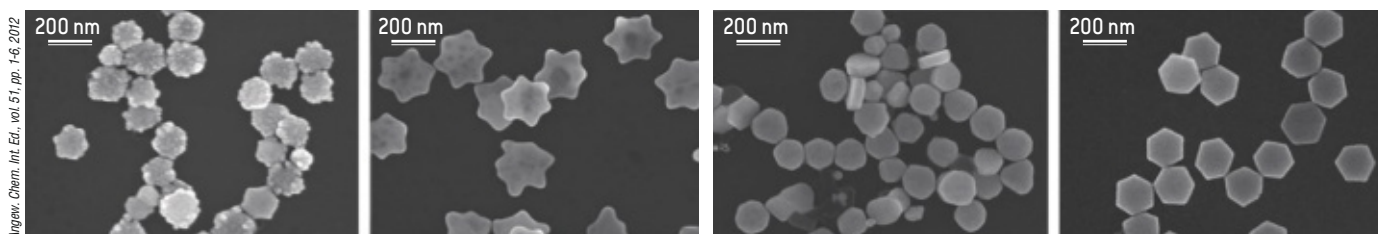
nières présentent des formes et des rugosités variables suivant la séquence d'ADN introduite.

Par exemple, si toutes les bases (parmi l'adénine, la cytosine, la guanine et la thymine) de la molécule d'ADN sont de la guanine, les nanoparticules d'or sont hexagonales, plates et lisses; si toutes les bases sont de l'adénine, elles sont circulaires, plates et rugueuses. Avec deux types de bases, trois scénarios sont possibles: une compétition, où la base majoritaire détermine la forme des nanoparticules; une synergie, qui fait apparaître des formes inédites; ou bien

la domination d'une base qui régit la forme des nanoparticules même si elle est minoritaire.

Les mécanismes sous-jacents ne sont pas bien élucidés, mais de telles nanoparticules pourraient avoir des applications en biologie. L'ADN utilisé conservant sa capacité à s'hybrider avec des séquences d'ADN complémentaires, les nanoparticules d'or pourraient notamment servir à détecter ou extraire des séquences d'ADN particulières.

→ M. V.

Z. Wang et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 51, pp. 1-6, 2012

Des nanoparticules d'or synthétisées en présence d'ADN de séquences diverses (de gauche à droite : ADN constitué de 30 molécules d'adénine, de 30 molécules de thymine, de 30 molécules de cytosine, de 20 molécules de guanine).



LES {Partagez les savoirs} RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur www.jardindesplantes.net, dans "l'agenda du jardin"

UN CHERCHEUR / UN LIVRE

Lundi 1^{er} octobre - 18h : Animal certifié conforme
Invités : **Bernadette Lizet**, ethnologue, directrice de recherches au CNRS, Muséum, **Jacqueline Milliet**, ethnologue.

Lundi 15 octobre - 18h : Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes de Cuvier, publié en 1812
Invité : **Philippe Taquet**, paléontologue, professeur émérite du Muséum, président de l'Académie des sciences.

CONFÉRENCES

Cycle : "Dinosaure, la vie en grand"
Lundi 29 octobre - 18h : Dinosaures géants d'Afrique
Invité : **Philippe Taquet**

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, Paris 5^e - Métro : Jussieu

COURS PUBLICS

Jeudi 11 octobre - 18h
Le voyage des herbes dans le Jardin des Plantes : pour une histoire des collections
Par **Denis Lamy**, département Systématique et Évolution, Muséum.

Grand Amphithéâtre du Muséum
57 rue Cuvier, Paris 5^e - Métro : Jussieu

BAR DES SCIENCES

Dimanche 14 octobre - 15h30
Y a-t-il une bonne et une mauvaise biodiversité ?
Jean-Louis Chapuis, chercheur en écologie, Muséum.
Romain Julliard, biologiste de la conservation, Muséum.

Café restaurant la Baleine - 47 rue Cuvier, Paris 5^e



Paléontologie

L'os interpariétal retrouvé

On croyait l'os interpariétal, l'un des os du toit crânien, disparu chez plusieurs lignées de mammifères. Marcelo Sánchez, de l'Université de Zurich, et deux collègues ont montré que ce n'est pas le cas : en fait, cet os a seulement fusionné avec des os voisins, les pariétaux.

L'os interpariétal est placé entre les pariétaux (les os latéraux de la voûte crânienne), mais aussi entre les frontaux et l'occiput supérieur. Il est présent non seulement chez les humains, mais aussi chez les ongulés (cheval, âne, etc.) et les mammifères carnivores (chat) (voir la figure). Mais il paraissait absent chez les cochons, les monotrèmes, les tatous, certains marsupiaux... Cela intriguait d'autant plus que l'étude de la structure de l'os interpariétal des mammifères a révélé qu'il est composé de plusieurs tissus osseux dont les histoires évolutives sont différentes.

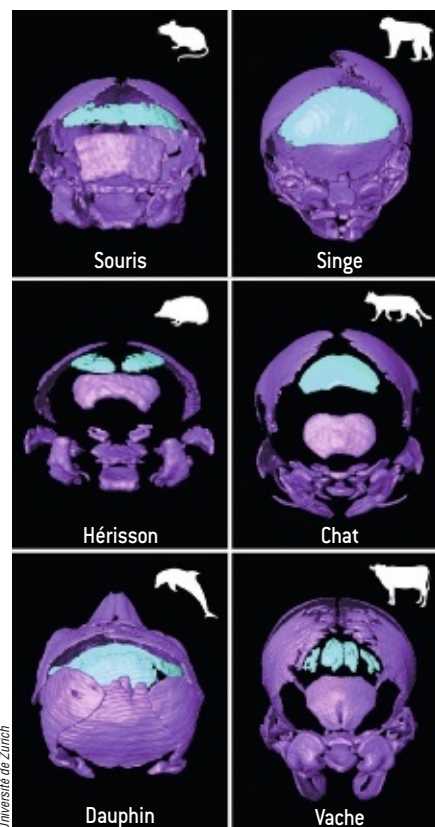
Par une forme non invasive de microtomographie, l'équipe de M. Sánchez a réussi

à reconnaître l'os interpariétal chez quelque 250 espèces de toutes les lignées de mammifères. Cependant, ces chercheurs ont constaté qu'il n'est clairement discernable qu'au stade embryonnaire. C'est sans doute pourquoi les anatomistes n'ont pu l'identifier chez les animaux de certaines lignées.

M. Sánchez et ses collègues ont aussi découvert que l'os interpariétal résulte de la fusion de quatre éléments : une paire médiane et une paire latérale d'os interpariétaux. Ces os interpariétaux latéraux apparaissent donc comme une lointaine évolution des os tabulaires des reptiles mammaliens préhistoriques, qui dérivent du mésoderme (un feuillet cellulaire intermédiaire de l'embryon, entre l'ectoderme et l'endoderme), ce qui n'est pas le cas des os de la paire médiane. Cela explique les origines évolutives mêlées des tissus osseux de l'os interpariétal.

→ F.S.

D. Koyabu et al., PNAS, en ligne le 13 août 2012



L'os interpariétal (en bleu) chez quelques espèces de mammifères.

universcience présente

cité des sciences & de l'industrie

Palais DÉCOUVERTE

les **conférences**

entrée libre

OCTOBRE > DÉCEMBRE 2012

théma **La fin des mondes**

Est-ce pour 2012 ? D'où vient le mythe ?

Anthropologues, économistes, astrophysiciens, biologistes et même auteurs de SF partageront leur vision de l'avenir.

En partenariat avec

Avec le soutien de

AFAS

programme complet sur www.universcience.fr

Neurosciences

Apprendre en dormant

Des associations entre des sons et des odeurs peuvent être apprises en dormant, ont montré Anat Arzi, de l'Institut Weizmann en Israël, et ses collègues. L'étude a consisté à soumettre des participants à des odeurs plaisantes ou déplaisantes durant leur sommeil, simultanément à des sons de diverses tonalités. Une odeur agréable entraîne chez les dormeurs une inhalation plus profonde qu'une odeur déplaisante. Quand on leur faisait entendre ensuite des sons seuls, les participants respiraient plus profondément s'ils entendaient les sons auparavant associés à des odeurs agréables. Cette réaction était observée tant pendant le sommeil qu'après le réveil: les dormeurs ont inconsciemment appris les relations entre sons et odeurs imposées par les scientifiques durant le sommeil. L'expérience d'A. Arzi montre ainsi que le cerveau est capable, durant cette phase inconsciente, d'acquérir de nouvelles informations.

→ Maurice Mashaal

A. Arzi et al., *Nature Neuroscience*, en ligne le 26 août 2012

Astrophysique

Des étoiles qui fusionnent

En 2010, les astronomes avaient découvert dans l'amas stellaire R136, au sein du Grand Nuage de Magellan (une galaxie voisine de la nôtre), quatre étoiles plus massives que toutes celles connues. La plus grosse atteint 265 masses solaires, bien plus que la limite de 150 masses solaires autorisée par les mécanismes de formation classiques. L'un des scénarios possibles est celui de coalescence: ces étoiles résulteraient de la fusion de deux astres plus petits. Sambaran Banerjee, de l'Université de Bonn, et ses collègues ont apporté un argument en sa faveur. Ils ont reconstitué le comportement de l'amas R136 en simulant sur ordinateur l'évolution et les interactions de plus de 170 000 étoiles. Ils ont montré que de nombreuses étoiles se rencontrent et fusionnent, et que si des astres massifs similaires à ceux observés s'étaient formés en même temps que les autres étoiles, ils auraient aujourd'hui perdu une grande partie de leur masse, via l'émission de vents stellaires. Ces résultats accréditent le scénario de coalescence, mais sont à confirmer.

→ G. J.

S. Banerjee et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, à paraître, 2012

DERNIÈRE minute ...

DIX ESPÈCES DE PARASITES PAR POISSON

Jean-Lou Justine (MNHN) et des collègues de plusieurs autres pays ont livré les résultats d'une étude menée pendant huit ans dans le lagon néo-calédonien sur les poissons de récifs coralliens et leurs parasites. Ils concluent notamment que pour quatre grandes familles de poissons, dix espèces de parasites en moyenne sont associées à chaque espèce de poisson. Autrement dit,

l'extinction d'une espèce de poisson corallien aurait un impact notable sur la biodiversité.

UN PANNEAU DE CONTRÔLE DANS LE GÉNOME

Ce qu'on prenait pour de l'ADN «poubelle» serait en réalité un vaste panneau de contrôle, indique le projet ENCODE. Les chercheurs impliqués ont étudié l'ADN non codant du génome humain et ont identifié quatre millions d'«interrupteurs»,

Biophysique

L'aile optimale du criquet

Les criquets pèlerins, *Schistocerca gregaria*, migrent sur plusieurs milliers de kilomètres. Leurs ailes postérieures sont soumises à rude épreuve et peuvent être endommagées par l'usure ou les collisions. Elles sont constituées d'une membrane souple et peu résistante, de 1,7 à 3,7 micromètres d'épaisseur, et d'un réseau de nervures qui renforcent l'aile. Jan-Henning Dirks et David Taylor, du Centre de bio-ingénierie du Trinity College, en Irlande, ont montré que la distribution des nervures est optimisée pour empêcher la propagation de fissures qui se créent dans la membrane, tout en limitant le poids des ailes.

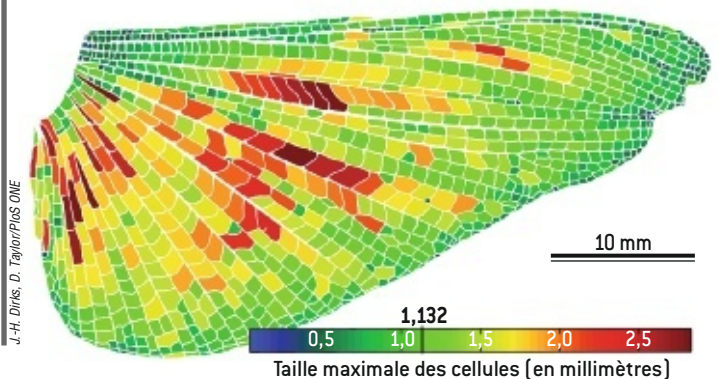
Les nervures transverses renforcent la résistance de l'aile aux déchirements. Elles limitent aussi la propagation d'une fissure de la membrane, qui pourrait s'agrandir sous l'action d'une tension exercée sur l'aile. Plus l'aile présente de nervures transverses, plus elle est

résistante aux fissures. Mais cela réduit d'autant la flexibilité de l'aile et augmente son poids. Quel est le bon compromis ?

Pour le savoir, les chercheurs ont étudié la taille des cellules de la membrane délimitées par les nervures. Pour une tension donnée, il existe une longueur critique en deçà de laquelle une amorce de fissure est bloquée par les nervures et reste limitée à la cellule. Si la taille des cellules est inférieure à cette longueur critique, les fissures qui y apparaissent sont trop petites, si bien que l'aile résiste à la tension correspondante. En considérant le cas extrême – la force nécessaire pour détruire la partie la plus fragile de l'aile, la membrane –, les chercheurs ont trouvé une longueur critique de 1,132 millimètre. La plupart des cellules ne dépassant pas 1,0 à 1,1 millimètre, l'aile du criquet est proche de l'optimum.

→ S. B.

PloS ONE, vol. 7(8), e43411, 2012



des séquences d'ADN régulant l'expression des gènes, grâce à l'analyse de 147 tissus différents de l'organisme. Finalement, bien que seuls deux pour cent du génome codent des protéines, environ 80 pour cent de l'ADN seraient actifs.

fr Retrouvez plus d'actualités et toutes les références sur www.pourlascience.fr

Retour sur des sujets déjà traités dans nos colonnes

→ NOS ANCÊTRES CARNIVORES

Lucy et son bébé Selam vivaient dans un delta est-africain, où ces australopithèques avaient un mode de vie en partie arboricole, expliquait Kate Wong en 2007 (voir « Le bébé de Lucy », *Pour la Science*, février 2007, http://bit.ly/PLS352_Wong). Sans doute avaient-ils de ce fait un régime alimentaire opportuniste mêlant fruits, racines, feuilles, charognes...



José Barga et Didier Descouens

Avec des collègues français et sud-africains, Vincent Balter, de l'École normale supérieure de Lyon, vient de le confirmer dans le cas des australopithèques sud-africains (*Nature*, 9 août 2012). Les chercheurs ont mesuré les proportions de baryum, de strontium et de calcium dans l'émail dentaire d'australopithèques ayant vécu dans la région il y a plus de deux millions d'années, puis dans celui des premiers humains et de leurs contemporains paranthropes (genre éteint d'hominidés), il y a quelque 1,5 million d'années. Baryum et strontium sont en effet métabolisés par l'organisme comme le calcium, de sorte que les carnivores en contiennent moins que les herbivores, qui en ont moins que les végétaux, qui eux-mêmes en sont moins riches que le milieu où ils croissent.

Il ressort de ces mesures que, conformément à ce que l'on pensait, le régime alimentaire des australopithèques sud-africains était aussi sans doute omnivore opportuniste, tandis que leurs descendants se sont spécialisés. Ainsi, alors que les paranthropes étaient clairement herbivores, les premiers humains étaient beaucoup plus carnivores, probablement parce qu'en plus de charogner, ils chassaient déjà à l'aide de leurs outils de pierre.

→ LE TERRIFIANT SUPERVOLCANISME ARCHÉEN

Le volcanisme massif perturbe fortement l'atmosphère, expliquait Ilya Bindeman en 2006 (voir « Les ravages des supervolcans », *Pour la Science*, janvier 2006, http://bit.ly/PLS346_Bindeman). Aujourd'hui, les mégaéruptions sont rares, mais à l'Archéen, il y a 4 à 2,45 milliards d'années, le centre de la Terre dégageait quatre fois plus de chaleur qu'aujourd'hui et elles étaient fréquentes. C'est à partir de cette remarque que Pascal Philippot, de l'Institut de physique du globe de Paris, et ses collègues ont élaboré une explication simple de l'existence de dépôts épisodiques de sulfates à l'Archéen (*Nature Geoscience*, août 2012).

Les sulfates (XSO_4) sont produits dans la haute atmosphère par photolyse (réaction aux ultraviolets) du dioxyde de soufre d'origine volcanique. Dans l'atmosphère anoxique archéenne, ils étaient toutefois immédiatement réduits en sulfures (XS), de sorte qu'en bonne logique chimique, il n'aurait pas dû y avoir de dépôts de sulfates dans les roches archéennes. Pourtant, à trois reprises – il y a 3,5, 3,4 et 3,2 milliards d'années –, des sulfates s'y sont déposés. Pour expliquer cette anomalie, les géochimistes ont proposé divers mécanismes compliqués, voire évoqué de brèves « oasis de vie », c'est-à-dire des apparitions brèves, massives et locales d'oxygène.

Par des analyses pétrographiques et isotopiques de carottes de sédiments prélevées dans des terrains sud-africains, australiens et indiens, l'équipe de P. Philippot a pu établir que dans les roches sulfatées archéennes, les proportions de sulfates et de sulfures sont les mêmes que celles produites aujourd'hui par photolyse quand de grands panaches volcaniques (tel celui du Pinatubo) atteignent la haute atmosphère, où ils sont bombardés d'ultraviolets. Cela suggère qu'à trois reprises, les supervolcans archéens ont émis tant de dioxyde de soufre que le processus qui faisait normalement disparaître les sulfates – leur réduction en sulfure au sein de l'atmosphère anoxique archéenne – est devenu négligeable. Des sulfates ont alors précipité dans les océans, où ils se sont incorporés aux roches sédimentaires archéennes.

→ UN NOUVEAU BIOCIDÉ

Les maladies nosocomiales sont des infections contractées à l'hôpital en respirant ou absorbant les spores de bactéries apportées par les autres patients, rappelait Bernard Régnier en 2005 (voir « Les infections à l'hôpital », *Pour la Science*, mai 2005, http://bit.ly/PLS331_Regnier).

L'équipe de Mathias Oulé, de l'Université de Saint Boniface, à Winnipeg au Canada, vient de tester un biocide commercial de la famille de la guanidine nommé *Akwaton* et produit par la Société *Fosfaton Akwaton International* (à Winnipeg). Les chercheurs affirment que ce composé cristallin obtenu par oxydation de la guanine – une base azotée que l'on rencontre notamment dans l'ADN sous forme de nucléotide – dilué à seu-

lement 0,05 pour cent dans l'eau perce en moins de deux minutes à 20 °C les membranes des staphylocoques dorés (intoxications alimentaires), de *Pseudomonas aeruginosa* (diverses graves infections), de *Salmonella choleraesuis* (salmonelloses), de colibacilles (diarrhées), de *Clostridium difficile* (inflammation du côlon) et même du staphylocoque doré résistant à la méthicilline (*Journal of Medical Microbiology*, 9 août 2012). Pour comparaison, les solutions à base d'eau oxygénée (volatile) communément utilisées sont à 3 pour cent et celles d'alcool (très volatil) à 70 pour cent. Inodore, incolore, non corrosif et non toxique, ce biocide a déjà été largement utilisé dans l'industrie agroalimentaire et... pour élaborer des bains de bouche. Il devrait maintenant se mettre au service de la lutte contre les maladies nosocomiales.

François Savatier