

■ POUR LA

SCIENCE

Mars 2013 - n° 425

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American

Modéliser le cerveau humain

Un projet gigantesque
et ambitieux

Les météorites primitives

La nébuleuse solaire
cartographiée

Tours de magie

L'art de mélanger
les cartes

Les fractales lisses

Un nouvel objet
mathématique

M 02687 - 425 - F: 6,20 €



Allemagne : 9,30 € - Belgique : 7,20 € - Canada /S : 10,95 CAD - Grèce /S : 7,60 € - Guadeloupe/St Martin /S : 7,30 € - Guyane /S : 7,30 € - Italie : 7,20 € - Luxembourg : 7,20 €
Maroc : 60 MAD - Martinique /S : 7,30 € - Nlle Calédonie Wallis /S : 980 XPF - Polynésie Française /S : 980 XPF - Portugal : 7,20 € - Réunion /A : 9,90 € - Suisse : 12 CHF



Telligo

Bien plus que des colos

**Pour que votre enfant vive
pleinement sa passion !**



*Telligo, l'inventeur des séjours
à thème pour les 6/17 ans, propose
de vraies rencontres entre des jeunes
avides d'aventures inoubliables et
des animateurs experts qui veulent
partager leurs passions.*

**Pour recevoir nos brochures
01 46 12 18 50
www.telligo.fr**

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

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 :

Guillaume Aulanier, Sophie Gallé-Soas, Évelyne Heyer, Tarik

Issad, Christopher Jarvis, Pierre Jouventin, Lucile Julien,

François Nez, Jeanne Peiffer, Christophe Pichon, Frédéric

Pont, Perrine Ruby, David Saadoun, Julien Siebert, Daniel

Tacquenot, François Tronche, Maéva Vignes, Bernard Vitrac.

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(j.f.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

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. Edi-

tors : Ricky Rusting, Philip Yam, Gary Stix, Davide Castelvecchi,

Graham Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer,

George Musser, Christine Soares, Kate Wong. President : Steven

Inchcombe. 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 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

partiellement la présente revue sans autori-

sation de l'éditeur ou du Centre français de

l'exploitation du droit de copie (20, rue des

Grands-Augustins - 75006 Paris).



Mathémagie

Les neurobiologistes se penchent sur les mécanismes cérébraux qui permettent aux magiciens de se jouer de nous, nous donnant à voir ce qui n'existe pas ou nous masquant ce qui crève les yeux. Détourner l'attention est leur maître mot. La neuromagie est une nouvelle discipline où des scientifiques travaillent avec des magiciens pour préciser les bases neurobiologiques des phénomènes attentionnels. Elle est en plein essor et, contrairement à ce que certains esprits chagrins craignaient, ces découvertes n'enlèvent rien à la magie. Ce n'est pas parce que l'on comprend un peu mieux comment procèdent les magiciens que l'on se laisse moins facilement piéger ! La magie continue d'opérer.

Si les magiciens ont une excellente compréhension intuitive du fonctionnement cérébral, ils ont aussi des connaissances mathématiques qu'ils appliquent à leur art. Ainsi, leur façon de mélanger les cartes ne laisse rien au hasard. On est toujours surpris qu'après avoir coupé, mélangé, recoupé, mélangé à nouveau, ils retrouvent la carte que l'on avait choisie sans la leur montrer et

Pour percer les secrets de la beauté

placée sur le haut de la pile. En fait, rien de plus simple... après d'innombrables heures d'entraînement et avec une dextérité sans égale ! Ils appliquent le « mélange déterministe » : ils coupent en deux tas strictement égaux et, quand ils mélangent, alternent une carte de chaque paquet. Après quelques cycles, dont ils connaissent le nombre, ils retrouvent la configuration initiale (voir *Des cartes bien mélangées*, page 80).

Existe-t-il d'autres passerelles entre magie, mathématiques et art ? Chez Dürer, d'abord, qui chercha à mettre en évidence les lois géométriques de la nature pour percer les secrets de la beauté, et les appliqua à son art (voir *Les coniques selon Dürer*, page 74). Dans les fractales lisses aussi. Les mathématiciens ont découvert ce nouvel objet géométrique en cherchant à préserver les longueurs quand on passe d'une portion de plan à un tore (voir *Les fractales lisses*, page 20). Par une sorte de « mathémagie », ils rendent possible ce maintien des longueurs, opération longtemps jugée impossible. Les enjeux des mathématiciens et ceux des magiciens sont à l'évidence différents, mais certaines stratégies semblent les rapprocher.

1 ÉDITO

4 BLOC-NOTES

Didier Nordon

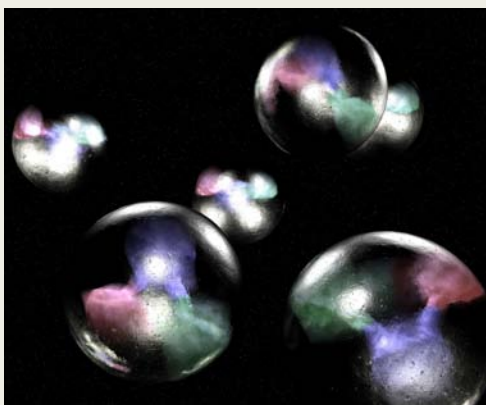
Actualités

6 Une nouvelle source d'énergie dans les neurones

8 Mémoire défaillante contre famine

9 Des gènes indiens chez les aborigènes australiens

10 Un problème de taille pour le proton



12 Pesticides contre amphibiens

... et bien d'autres sujets.

Opinions

14 POINT DE VUE
Rythmes scolaires :
les recentrer sur l'enfant

François Testu

15 DÉVELOPPEMENT DURABLE
L'obsolescence programmée
est-elle une stratégie
répandue ?

Alain Geldron

19 VRAI OU FAUX
Une température absolue
peut-elle être négative ?

Roger Balian

Ce numéro comporte un encart *Pour la Science* / Salon du livre 2013 posé en 4^e de couverture de l'édition abonnés Paris IDF, deux encarts d'abonnement brochés sur la totalité du tirage et une offre d'abonnement *Pour la Science* p. 65.
En couverture : © V. Borrelli, S. Jabrane, F. Lazarus, D. Rohmer et B. Thibert

À LA UNE

20 MATHÉMATIQUES

Les fractales lisses

Vincent Borrelli, Francis Lazarus et Boris Thibert

Il est possible de transformer une portion de plan en une surface torique sans modifier les longueurs. Le résultat, visualisé pour la première fois, inaugure une nouvelle famille d'objets géométriques.

28 ÉVOLUTION
Le plus étrange des oiseaux

Ewan Fordyce et Daniel Ksepka

L'étonnante adaptation des manchots à des conditions extrêmes est le fruit d'une lente évolution, qui se déroule depuis plus de 60 millions d'années.

36 NEUROSCIENCES
Human Brain Project :
simuler le cerveau humain

Henry Markram

Le projet Cerveau humain a été désigné comme l'un des deux programmes phares de la recherche européenne. Grâce à lui, les neurosciences pourraient progresser à pas de géant.

44 PHYSIQUE
D'où vient l'électricité
statique ?

Meurig Williams

Comment les charges s'accumulent-elles dans les phénomènes d'électricité statique ? Des études récentes montrent que des transferts de matière sont parfois à l'œuvre.



52 ENVIRONNEMENT El Hierro, île écologique modèle ?

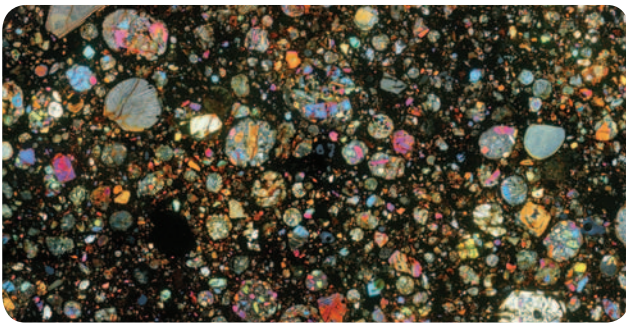
Alain Gioda, Carlos Recio et Luis Santana

Sur El Hierro, une île des Canaries, des dispositifs innovants sont mis en place pour la gestion de la biodiversité, de l'eau et de l'énergie.

58 ASTROPHYSIQUE Les secrets des météorites primitives

Alan Rubin

L'analyse microscopique des chondrites, les plus vieilles roches du Système solaire, laisse entrevoir ce qu'était la nébuleuse solaire peu avant la formation des planètes.



66 PALÉONTOLOGIE Le triomphe des titans

K. Curry Rogers et M. D'Emic

Les sauropodes, ces dinosaures géants au long cou et aux pieds éléphanterques, passaient pour inadaptés. Ils ont pourtant vécu et se sont diversifiés partout sur la planète pendant plus de 150 millions d'années. Un succès évolutif titanesque...



Regards

74 HISTOIRE DES SCIENCES Les coniques selon Dürer

Daniel Silver

À la Renaissance, la méthode de construction des coniques d'Albrecht Dürer a été source d'inspiration tant dans les arts que dans les sciences.

80 LOGIQUE & CALCUL Des cartes bien mélangées

Jean-Paul Delahaye

Les mathématiciens comprennent de mieux en mieux le mélange des cartes.

86 SCIENCE & FICTION Combien de doigts pour un extraterrestre ?

J.-S. Steyer et R. Lehoucq

88 ART & SCIENCE La pomme d'Adam est un citron

Loïc Mangin

90 IDÉES DE PHYSIQUE La courbe antisecousse

*Jean-Michel Courty
et Edouard Kierlik*

93 SCIENCE & GASTRONOMIE De l'huile en perles

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.

→ MAL À LA TÊTE OU MAL AU VENTRE ?

« L'étude des sciences abstraites fatigue beaucoup plus les organes digestifs que les autres travaux, surtout quand on les étudie avec l'application que j'y ai mise et dont vous trouverez bien peu d'exemples. » Cette remarque bizarre est due à un mathématicien éminent (Cauchy, lettre de 1832). Alors, je n'ose en sourire...

D'autant que la science moderne la confirme. En 1891, a été observée chez les singes une relation inverse entre la taille du cerveau et celle de l'estomac. Ce phénomène a reçu l'explication que voici. Dans le métabolisme des primates, deux organes sont exigeants en énergie : le cerveau et le système gastro-intestinal. Certains primates – nos ancêtres – ont appris à retenir où se trouvaient les arbres à fruits, et quand ceux-ci fructifiaient. Ces efforts intellectuels pour choisir une meilleure nourriture ont amené leur cerveau à grossir, donc à devenir exigeant en énergie, mais ont allégé le travail de l'intestin. Sa taille dépendant du régime alimentaire, l'intestin a diminué au cours de l'évolution, ce qui a compensé le coût métabolique d'un gros cerveau (Christine Tardieu, *Comment nous sommes devenus bipèdes*, Éd. Odile Jacob, 2012).

Une fois de plus, les mathématiques ont magnifiquement anticipé. Cauchy a pressenti que penser met le ventre à rude épreuve. Cela a-t-il un rapport avec le fait que, par ailleurs, il est à l'origine du « théorème des résidus » ?



→ À MENTEUR, MENTEUR ET DEMI

Le principal grief d'Alceste contre les hommes est que ceux-ci ne cessent de dissimuler. Et le principal grief des hommes contre Alceste est que celui-ci se refuse à le faire. Résumée à la hussarde, l'idée générale du *Misanthrope* est : le misanthrope est celui qui dit la vérité.

En bonne logique, cette proposition équivaut à : le philanthrope est celui qui ment.

Conclusion toujours d'actualité. À qui donne-t-on le nom de philanthrope ? En général, à un requin des affaires qui subventionne une institution charitable. Il se dit mû par l'amour du prochain, mais on peut le soupçonner de vouloir surtout sauver son âme et s'éviter je ne sais quelle damnation. En cela, ce philanthrope est un dissimulateur. Inversement, qui est dissimulateur par excellence ? Celui qui, convoitant le pouvoir, abreuve de promesses les gens qui le lui feront obtenir. Il ne se présente pas à eux comme un arriviste, bien sûr, mais comme leur défenseur. Un vrai philanthrope.

De nos jours, Molière pourrait écrire *Le Philanthrope*. Le héros serait un *golden boy* qui s'enrichit au-delà de toute décence puis, grâce à la fortune ainsi acquise, fonde une faction chargée de le mener par tous les moyens à quelque poste suprême. Pour le seul bien du peuple, évidemment.

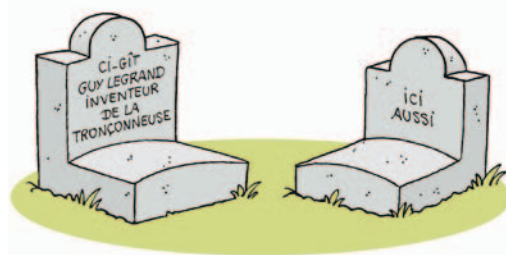
→ LE PIRE N'EST JAMAIS SÛR...

On ne compte plus les physiciens et les chimistes blessés ou tués en faisant des expériences ; les médecins et les biologistes testant sur eux-mêmes, au risque de leur vie, un médicament nouveau ; les explorateurs disparus en expédition ; les logiciens et les mathématiciens devenus fous... Il faut avoir en soi un peu de l'apprenti sorcier pour se hasarder dans l'inconnu, et s'exposer à ses réactions imprévisibles.

La recherche du savoir n'est pas une sagesse. La Bible et la mythologie grecque l'avaient compris. Mais pas notre société.

Quand un problème l'inquiète, elle fait figurer des scientifiques dans des « comités de sages ». Or il ne suffit pas qu'ils soient honnêtes pour qu'ils soient de bon conseil. Leur psychologie, façonnée par leur formation scientifique, les incite à surestimer les bienfaits à espérer d'une tentative et à sous-estimer ses risques. Pour prôner la retenue, il leur faut réagir contre leur pente. C'est un effort de réévaluation auquel ils peuvent ne pas être prêts.

La prochaine fois qu'on créera une commission, confions la présidence à Hybris, déesse de la démesure, et nommons membres Faust, Icare, Lucifer, Prométhée. Si ces personnalités indépendantes rendent un rapport incitant à la prudence... c'est que la catastrophe aura déjà eu lieu !



→ ACCOUPLEMENT FÉCOND

Pourquoi a-t-il fallu plus de temps pour inventer le vélo (fin du XIX^e siècle) que le train (début du même XIX^e) ? Parce que, au début du XIX^e siècle, le mot *vélo* n'existait pas, ce qui a inhibé la conception de l'objet. Le mot *vélo* existait, certes, mais cela n'a rien à voir : essayez donc de courir le Tour de France sur un *vélo* ! Alors que les termes *train*, *chemin*, *fer* étaient là depuis longtemps. Il suffisait de les assembler.

Mais les mots *roulette* et *valise* sont là depuis longtemps, eux aussi, de même que l'expression : « Aller comme sur des roulettes. » Or la valise à roulettes est récente. Il faut donc une autre explication. Le philosophe Raphaël Enthoven s'est amusé à observer que, depuis l'invention de la valise à roulettes, les maris sont devenus inutiles.

De fait, dans un monde où les moteurs suppléent la force physique, rares, désormais, sont les situations incitant les femmes à demander aux hommes de bien vouloir jouer du muscle pour elles. Pas de doute : ce sont eux, les hommes, qui ont intrigué pour empêcher le plus longtemps possible que germe l'idée si simple d'accoupler les valises et les roulettes.

→ L'ART DE L'EXPÉRIENCE

L'expression « œuvre d'un artiste » – qu'elle désigne une œuvre précise ou l'ensemble de sa production – n'est en général pas associée à la notion d'expérience. C'est une erreur : l'histoire des arts est

une suite d'expérimentations. Bach explorant le tempérament jusqu'à ses limites ; Beethoven, le piano-forte ; les musiciens actuels, l'électronique et l'informatique. Un art qui ne ferait pas d'expériences avec les techniques nouvelles, les poussant le plus loin possible et se transformant à leur contact, cet art s'étiolerait vite.

Chose curieuse, l'expression « œuvre d'un savant » n'évoque pas non plus la notion d'expérience. Elle désigne plutôt les lois qu'il a énoncées, les théories et les hypothèses qu'il a formulées – bref, ses écrits. C'est que les expériences passent pour éphémères, donc subalternes : leur rôle cesse dès que sont énoncées les conclusions auxquelles elles mènent. Aujourd'hui, cependant, la pérennité et la fixité sont moins liées qu'autrefois à

la notion d'œuvre – les installations des plasticiens en témoignent. Alors, rien ne devrait retenir de considérer les expériences comme des œuvres.

Une œuvre est une expérience. Une expérience est une œuvre. Ce qui ne signifie ni que ces deux termes sont synonymes ni que l'art et la science sont une seule et même activité. ■



universcience présente



les conférences

Cité des sciences et de l'industrie

entrée libre

Les mardis 19, 26 mars
et 2 avril à 19h

CYCLE "Économie : échanger autrement"

Les expériences d'économies solidaires ou respectueuses de l'environnement se multiplient. Épiphénomènes ou mutations profondes de nos sociétés ?

En partenariat avec
arée

Avec le soutien de

SCIENCE

SCIENCE VIE

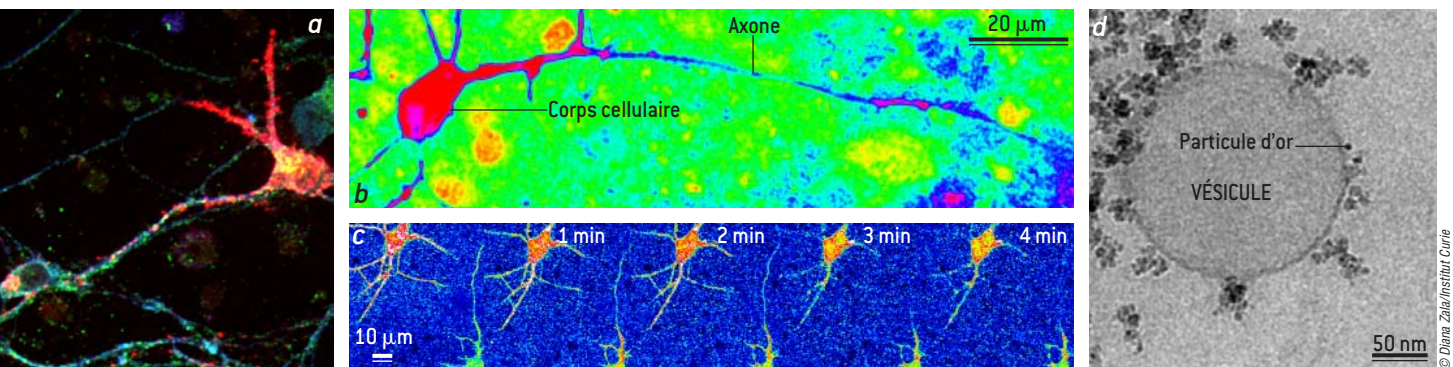
plus

programme complet sur
www.universcience.fr

Biologie cellulaire

Une nouvelle source d'énergie dans les neurones

Pour se déplacer dans les neurones, les vésicules synaptiques produisent elles-mêmes, grâce à une machinerie embarquée à leur surface, l'énergie dont elles ont besoin, indépendamment des mitochondries.



Dans un neurone de rat observé en microscopie à fluorescence, l'enzyme GAPDH (*a*, en rouge), indispensable à la transformation du glucose en énergie, et la protéine huntingtine (*en vert*), sont visibles sur des vésicules synaptiques (*en bleu*). À l'aide de particules d'or couplées à un anticorps, GAPDH est aussi détectée sur des vésicules de transport extraites des neurones et observées en microscopie électronique (*d*). Lorsqu'on diminue fortement l'ATP mitochondrial (*b* et *c*, en rouge) dans les axones, soit en maintenant les mitochondries dans le corps cellulaire (*b*), soit en bloquant la production d'ATP mitochondrial par une drogue (*c*, on voit ici l'action de la drogue au fil du temps), le transport neuronal n'est pas perturbé.

Les mitochondries ne seraient pas les seuls compartiments cellulaires à produire de l'énergie dans les neurones : de minuscules vésicules, les vésicules synaptiques, porteraient leur propre machinerie de production énergétique. Cela leur permettrait de se déplacer d'un bout à l'autre des axones, ces longs prolongements qui transmettent les signaux électriques entre neurones. Diana Zala et Frédéric Saudou, du Laboratoire Signalisation, neurobiologie et cancer (Institut Curie/CNRS/INSERM), à Orsay, et leurs collègues sont parvenus à cette conclusion en étudiant de plus près le mouvement de ces vésicules.

Dans les neurones, la principale source d'énergie est le glucose. Celui-ci fournit de l'énergie aux cellules en deux étapes, sous la forme de molécules d'ATP. D'abord, dans le milieu intracellulaire (le cytoplasme), le glucose est converti par glycolyse en pyruvate, ce qui libère un peu d'énergie (deux molécules d'ATP par molécule de glucose). Puis, au sein des mitochondries, le pyruvate est dégradé, ce qui produit l'essentiel de l'énergie neuronale : 34 molécules d'ATP par molécule de glucose initiale.

Toutefois, les mitochondries sont rares dans les axones. Sont-elles capables de fournir en ATP les vésicules synaptiques tout au long de leur voyage ?

Qu'on en juge : pour alimenter les zones synaptiques en diverses protéines, ces vésicules de quelques dizaines de nanomètres parcourent à grande vitesse des axones mesurant de un millimètre à plus d'un mètre de long. Or le moyen de locomotion des vésicules, bien connu, ne consomme pas moins d'une molécule d'ATP tous les... huit nanomètres. Les vésicules sont transportées sur de longs filaments, les microtubules, par des moteurs moléculaires, des protéines qui transforment l'énergie chimique – l'ATP – en énergie mécanique. Comment le neurone fournit-il continuellement cette énergie aux moteurs moléculaires ancrés dans les vésicules ?

D. Zala et ses collègues ont d'abord montré que les mitochondries ne jouent aucun rôle dans le mouvement des vésicules synaptiques : dans des neurones de rat en culture, l'inhibition de la production énergétique des mitochondries n'a pas d'incidence sur leur déplacement. En revanche,

leur transport est perturbé lorsque l'on bloque une enzyme clef de la glycolyse, GAPDH. L'énergie des vésicules serait-elle uniquement fournie par la glycolyse cytoplasmique ? Pas seulement. En purifiant des vésicules synaptiques à partir de cerveaux de souris, les neurobiologistes se sont aperçus que l'enzyme, bien que principalement sous forme soluble dans le cytoplasme des neurones, est aussi présente à la surface des vésicules, et qu'elle y produit de l'ATP. Mieux, c'est la glycolyse à la surface des vésicules qui fournit l'énergie du transport, et non celle qui a lieu dans le cytoplasme.

Les biologistes n'étaient pas au bout de leurs surprises. Recherchant comment GAPDH se fixe sur les vésicules, ils ont montré que sa liaison est assurée par la protéine huntingtine, impliquée dans une maladie neurodégénérative rare, la maladie de Huntington. Ses symptômes – troubles mentaux, mouvements involontaires – seraient-ils liés à une perturbation de la source d'énergie embarquée sur les vésicules synaptiques ? Affaire à suivre...

→ Marie-Neige Cordonnier

Cell, vol. 152, pp. 479-491, 2013

Entomologie

La boussole galactique du bousier



Les bousiers sont incapables de percevoir la plupart des étoiles, mais ils sont sensibles au gradient d'intensité lumineuse de la Voie lactée.

Comment préserver un trésor nutritif de la concurrence ? Le bousier (un scarabée) a développé une stratégie originale : lorsqu'il découvre une bouse, il confectionne une boule et s'enfuit avec son butin en suivant le chemin le plus rectiligne possible. Marie Dacke, de l'Université de Lund, en Suède, et ses collègues ont montré qu'un bousier sud-africain le fait en s'orientant grâce à la Voie lactée.

Les entomologistes ont placé des bousiers *Scarabaeus satyrus* au centre d'une enceinte et mesuré la distance parcourue (ou, de façon équivalente, le temps mis par les insectes) pour s'en échap-

per. Lorsque le ciel nocturne était couvert ou que l'on empêchait les insectes de le voir grâce à un cache, leur trajectoire était plus irrégulière. Les chercheurs ont alors placé leur enceinte dans un planétarium et recréé diverses conditions (ciel étoilé « complet », Voie lactée seule, etc.). Sous un ciel étoilé complet, les performances des insectes étaient voisines de celles sous un ciel ne montrant que la traînée lumineuse diffuse de la Voie lactée. C'est donc bien par rapport à la Galaxie que s'orientent ces bousiers !

→ **Guillaume Jacquemont**

M. Dacke et al., *Current Biology*, en ligne le 24 janvier 2013

Astrophysique

Les tresses de la couronne solaire

La couronne solaire, partie la plus externe de l'atmosphère de notre étoile, est formée de gaz ionisé peu dense dont la température atteint quatre millions de degrés. Le mécanisme responsable de telles températures reste aujourd'hui mal compris. Or Jonathan Cirtain, du Centre de vol spatial Marshall de la NASA, et ses collègues ont observé des structures de champ magnétique mesurant une centaine de kilomètres et qui pourraient intervenir directement dans le chauffage de la couronne solaire.

L'obstacle principal dans cette étude était de parvenir à une résolution suffisamment fine pour voir ces structures dans l'ultraviolet profond, à la limite des rayons X, ce qui permet de sonder des parties du champ magnétique associées à des températures d'environ trois millions de degrés. Une seconde contrainte était qu'une telle gamme du spectre électromagnétique ne peut être observée qu'à partir d'un



La couronne solaire observée par Hi-C révèle, à gauche, des tresses du champ magnétique.

instrument situé en dehors de l'atmosphère terrestre.

En juillet 2012, J. Cirtain et ses collègues ont utilisé l'Imageur coronal à haute résolution, Hi-C, installé sur une fusée. Ils ont obtenu cinq minutes d'enregistrement avant que l'appareil ne pénétre de nouveau dans l'atmosphère. Les images ont mis en évidence des structures du champ magnétique d'une taille caractéristique de 150 kilomètres. Les chercheurs ont observé des assemblages de lignes de champ enchevêtrées ou

« tressées » en raison du mouvement complexe du gaz ionisé. Ils ont aussi vu une éruption solaire située à l'intersection de structures indiquées par Hi-C. Ils ont pu estimer l'énergie accumulée dans ces structures et montrer qu'elle serait suffisante pour chauffer la couronne si elle est libérée lors de reconnections magnétiques – des réarrangements topologiques des lignes de champ.

→ **Sean Bailly**

J. W. Cirtain et al., *Nature*, vol. 493, pp. 501-503, 2013

En bref

Un nouveau type d'éruption

Melissa Rotella, de l'Université Victoria en Nouvelle-Zélande, et ses collègues ont identifié un nouveau type d'éruption volcanique sous-marine, intermédiaire entre le type effusif et le type explosif. Comme dans ce dernier cas, il y a formation de pierres ponces. La lave se détache en petites sphères, dans lesquelles le gaz dissous forme des vésicules, à cause de la baisse de pression ambiante. L'extérieur de ces sphères durcit vite et présente peu de vésicules, contrairement à leur cœur qui devient très peu dense.

Richard III sous un parking

Richard III d'Angleterre était brave, est mort au combat en 1485 et a laissé une réputation terrible. Richard Buckley, de l'Université de Leicester, a étudié sa dépouille présumée, retrouvée sous un parking de cette ville. Il vient d'annoncer « qu'au-delà de tout doute raisonnable », il s'agit bien de Richard III, notamment parce que son crâne portait tous les coups reçus au combat mentionnés par les chroniqueurs. R. Buckley a aussi constaté que le roi a été maltraité après sa mort et qu'il aurait été enterré les mains liées.

Testostérone antisclérose

La sclérose en plaques touche, en France, environ 80 000 personnes. Elle entraîne divers troubles neurologiques et se caractérise par une perte de myéline, la gaine protectrice des fibres nerveuses. Une équipe française a traité à la testostérone (ou à un analogue de synthèse) des souris aux fibres démyélinisées qui présentaient les symptômes de la maladie : ces symptômes se sont atténués, la testostérone ayant entraîné la différenciation de cellules souches neurales en cellules fabriquant de la myéline.

En bref

Gènes et maladie de Behçet

La maladie de Behçet touche surtout la Turquie, avec près de 400 cas pour 100 000 habitants. Il s'agit d'une inflammation des parois des vaisseaux sanguins qui se caractérise par des aphtes buccaux et génitaux et qui touche aussi les yeux. Daniel Kastner, de l'Institut de recherche sur le génome humain de Bethesda, aux États-Unis, et ses collègues ont identifié quatre nouveaux gènes liés à cette maladie. Certains se retrouvent dans d'autres pathologies, d'où, peut-être, une piste pour des traitements.

Comme se lie l'insuline

Comment l'insuline se lie-t-elle à son récepteur à la surface des cellules ? Une équipe internationale vient de répondre à cette question. Par cristallographie aux rayons X, John Menting et ses collègues ont décrit la structure du complexe, et montré comment l'interaction modifie la conformation des deux molécules. Ces précisions devraient aider à mieux comprendre pourquoi certaines anomalies de l'insuline entraînent le développement d'un diabète, et à affiner les traitements antidiabétiques.



www.lacartevanepedales.com/2011/08/la-piste-mongole/

Une piste déformée en tôle ondulée, en Mongolie.

Neurosciences

Mémoire défaillante contre famine

Près d'un milliard d'êtres humains dans le monde souffrent de la faim et 38 millions sont menacés de famine. Comment l'organisme s'adapte-t-il à une telle pénurie en calories ? Le cerveau contrôle la répartition des ressources dans l'organisme et, en cas de sous-alimentation, il restreint la consommation d'énergie des organes périphériques, afin de maintenir le fonctionnement des organes vitaux. Ce ne serait pas tout : Pierre-Yves Plaçais et Thomas Preat, du Laboratoire de neurobiologie de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de Paris (UMR CNRS/ESPCI), ont montré, chez la drosophile, que le cerveau se prive lui-même d'énergie en bloquant les mécanismes de mémorisation à long terme.

Les neurobiologistes français ont montré l'année dernière comment les drosophiles gardent durablement en mémoire une



Quand elle est privée de nourriture, la drosophile augmente ses chances de survie en inhibant certains mécanismes cérébraux de mémorisation à long terme.

odeur associée à un danger : dans leur centre de la mémoire olfactive (le « corps pédonculé »), l'activité électrique de deux paires de neurones particuliers oscille et différents mécanismes moléculaires de consolidation de

la trace mnésique sont mis en œuvre. Cette fois, ils ont déterminé comment le cerveau des drosophiles s'adapte à une pénurie en calories. Ils ont constaté qu'en privant les mouches de nourriture pendant 24 heures, on les empêche de mémoriser à long terme. En outre, si l'on force cette mémorisation en stimulant les deux paires de neurones, la mémoire à long terme est rétablie, mais les drosophiles vivent alors 30 pour cent de temps en moins ! Cela montre qu'elles ont manqué d'énergie.

Le cerveau est donc capable de se réguler lui-même : il inhibe un mécanisme de mémorisation coûteux en énergie, de sorte que les chances de survie des drosophiles augmentent. L'amnésie, une stratégie d'adaptation cérébrale à la famine ?

→ **Bénédicte Salthun-Lassalle**

P.-Y. Plaçais et T. Preat, *Science*, vol. 339, pp. 440-442, 2013

Physique

Comment une route se déforme en tôle ondulée

Les routes non asphaltées présentent souvent des ondulations (voir la photographie), formées par le passage répété de véhicules sur une chaussée meuble. Baptiste Percier, Sébastien Manneville et Nicolas Taberlet, à l'École normale supérieure de Lyon, apportent de nouveaux éléments dans la compréhension de ces « corrugations ».

Les modélisations attribuaient un rôle important au roulement et aux suspensions des véhicules, les petites irrégularités initiales présentes sur la voie étant peu à peu amplifiées. Mais il y a quelques années, N. Taberlet et d'autres collègues ont montré que traîner une

simple lame inclinée le long d'une piste de sable suffit à y créer des corrugations analogues.

Ces travaux ont établi l'existence d'un seuil de vitesse au-dessous duquel le lit de sable reste plat, et au-dessus duquel les irrégularités initiales se développent en une déformation périodique. Ce seuil augmente avec la masse de l'objet qui circule sur la voie. Enfin, pour des vitesses supérieures au seuil, le motif de corrugations apparaît au fur et à mesure des passages répétés de la lame inclinée. La longueur d'onde du motif reste constante, tandis que son amplitude augmente jusqu'à atteindre une valeur limite.

Avec leur dispositif expérimental – une piste de sable circulaire à la surface de laquelle une plaque inclinée est entraînée à vitesse constante –, B. Percier et ses collègues ont caractérisé la force exercée par le sable sur la plaque. Puis ils ont mis en équations le système en supposant que l'amplitude des déformations est faible. Ils parviennent ainsi à un modèle en accord avec les expériences (vitesse seuil, variation de sa valeur avec la masse de la plaque, longueur d'onde des corrugations). Il reste toutefois à mieux comprendre la physique du phénomène.

→ **Maurice Mashaal**

Physical Review E, vol. 87, 012203, 2013

Neurobiologie

Du stress à la dépression

Un stress chronique ou excessif peut causer une dépression. Jacques Barik, du CNRS, et ses collègues ont précisé les mécanismes neurobiologiques en cause.

Le stress entraîne la libération d'hormones, telle la corticostérone chez les rongeurs. Les chercheurs ont modifié génétiquement des souris pour que les neurones du noyau accumbens soient insensibles à cette hormone. À l'inverse de souris normales, elles ne développaient pas d'aversion sociale (un symptôme dépressif) lorsqu'elles étaient stressées par des attaques répétitives de leurs congénères. L'action de la corticostérone dans le noyau accumbens, où elle augmenterait la concentration en dopamine, serait donc nécessaire à ce symptôme. En revanche, les souris modifiées et stressées devenaient anxieuses, ce qui suggère que cet autre symptôme dépressif est contrôlé par une aire cérébrale distincte.

→ G. J.

J. Barik et al., *Science*, en ligne le 18 janvier 2013



Le stress favoriserait la dépression en agissant sur les circuits cérébraux de la dopamine, un neurotransmetteur.

Génétique

Le chien s'est adapté au pain

Avec des collègues, Erik Axelsson, de l'Université d'Uppsala en Suède, a identifié un groupe de gènes à l'origine de la capacité du chien à digérer l'amidon. Comment expliquer que le loup, dont le chien n'est qu'une forme domestiquée, ne possède pas ces gènes ? Les chercheurs proposent que des loups, à force de se nourrir de ce que jetaient les humains, auraient développé la capacité de digérer l'amidon, puis auraient été domestiqués. C'est possible, si l'on considère que l'homme consommait déjà des graminées au Paléolithique supérieur, époque de la domestication du loup. Toutefois, il semble plus vraisemblable que c'est seulement quand l'amidon s'est introduit massivement dans le régime alimentaire humain, il y a quelque 10 000 ans, au Néolithique, que les chiens l'ont rencontré assez souvent pour devoir s'y adapter. Le chien et l'homme ont appris ensemble, d'abord à se comprendre, puis à digérer l'amidon...

→ François Savatier

E. Axelsson et al., *Nature*, en ligne le 23 janvier 2013

Anthropologie

Des gènes indiens chez les aborigènes australiens

Des Indiens ont-ils migré en Australie il y a 4 000 ans ?

C'est ce que laisse supposer une récente étude comparative du génome d'aborigènes australiens et de populations indiennes, sud-asiatiques et guinéennes.

Selon le scénario prévalent parmi les généticiens des populations, les premiers hommes ont foulé le sol australien il y a au moins 45 000 ans. Partis d'Afrique du Sud, ils ont, en suivant la côte le long de la péninsule Arabique et de l'Inde, gagné le Sahul – le bloc continental qui rassemble l'Australie et la Nouvelle-Guinée. Puis de nouvelles arrivées ont brassé les gènes des populations installées sur les côtes de la Nouvelle-Guinée. Ces échanges se sont-ils propagés jusqu'en Australie ? La question fait toujours débat aujourd'hui. Malgré quelques études suggérant que des gènes humains ont circulé de l'Inde vers l'Australie durant l'Holocène (les 12 000 dernières années), les généticiens pensent en général que l'Australie est restée isolée jusqu'à l'arrivée des Européens, au XVIII^e siècle. La nouvelle étude suggère le contraire.

Irina Pugach, de l'Institut Max Planck pour l'anthropologie évolutionnaire de Leipzig, et ses collègues ont analysé les

différences entre les génomes entiers de 344 individus : des aborigènes du Nord de l'Australie et des Indiens, mais aussi diverses populations d'Asie du Sud. Ils ont ainsi confirmé que les populations d'Australie et de Nouvelle-Guinée ont divergé il y a 36 000 ans. Un résultat qui corrobore l'idée que ces peuples descendent d'une même migration ancienne en provenance d'Afrique *via* l'Asie du Sud.

Mais les généticiens ont aussi détecté la signature d'un transfert d'environ 11 pour cent de gènes de l'Inde vers l'Australie. Absente de l'archipel guinéen, cette signature serait postérieure à la première migration qui a peuplé l'Australie ; et sa répartition parmi la population aborigène de l'Australie du Nord est trop uniforme pour qu'elle ait pu se propager *via* la colonisation européenne tardive. À l'aide de simulations, les chercheurs estiment qu'elle remonte à 141 générations, soit il y a environ 4 000 ans. Ils doivent à présent étendre leurs recherches à toute l'Australie pour en savoir plus – une tâche compliquée par la réticence des aborigènes à fournir leur ADN.

→ M.-N. C.

I. Pugach et al., *PNAS*, en ligne le 14 janvier 2013



Une aborigène de Cairns, dans le Queensland au Nord de l'Australie.

Archéologie

La très ancienne charpenterie européenne

Comment débiter un tronc d'arbre sans scie ? En le brûlant. Du moins était-ce l'une des techniques utilisées par les charpentiers du début du Néolithique européen. La datation de coffrages en bois de quatre puits de l'Est de l'Allemagne, achevée par Willy Tegel, de l'Université de Fribourg, et des collègues, prouve qu'en Europe, le travail du bois est aussi ancien que celui de la terre.

Les chercheurs ont daté par dendrochronologie 151 planches de chêne utilisées dans la

construction des coffrages. Les résultats indiquent que les puits ont été construits entre -5190 et -5098, en plein Rubané, la période de la conquête de l'Europe septentrionale par les paysans. Or les modes de construction de ces puits révèlent une véritable charpenterie : après avoir abattu des arbres à la hache de pierre, les hommes de cette culture les ont débités en planches à l'aide de coins et de masses de bois, d'herminettes de pierre, voire de charbons ardents. Puis ils ont assemblé des planches en

y taillant des encoches, ou à l'aide de tenons et de mortaises.

Des processus aussi techniques suggèrent que les puits ont été coffrés par des artisans habiles et spécialisés. Cette information bat en brèche l'idée ancienne selon laquelle la véritable charpenterie n'était pas apparue avant l'âge des métaux, l'emploi de haches métalliques ayant été jugé indispensable pour travailler le bois dans sa masse.

→ F. S.

PLoS ONE, vol. 7, e51374, 2012

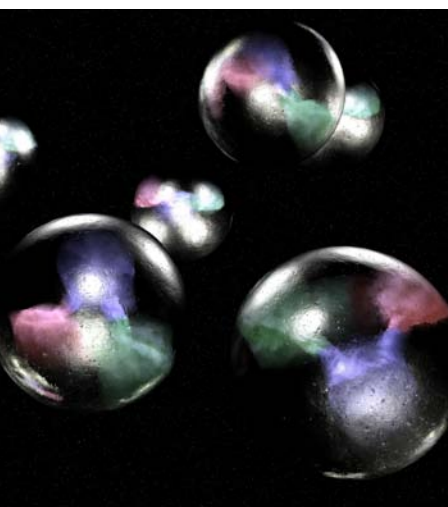


L'un des coffrages de puits qui a été assemblé, tel une cabane en rondins, à l'aide d'encoches.

Plus de 700 : c'est le nombre d'espèces de bactéries contenues dans le lait maternel. Moins en cas de surpoids de la mère ou de césarienne...*

Physique

Un problème de taille pour le proton



© Michael Taylor/istock.com

Quelle est la taille du proton, particule formée de trois quarks ? On la définit comme le rayon moyen de la répartition spatiale de charge électrique. Mais les mesures donnent deux résultats divergents.

Le proton, l'une des particules les plus communes dans l'Univers, est un constituant du noyau atomique. Sa taille intrigue les physiciens. Plusieurs expériences indiquaient un rayon d'environ 0,88 femtomètre (c'est-à-dire $0,88 \times 10^{-15}$ mètre). Cependant, Randolph Pohl, de l'Institut Max Planck d'optique quantique à Garching, en Allemagne, et ses collègues de la collaboration internationale à laquelle participe le Laboratoire Kastler Brossel (ENS-Paris/UPMC/CNRS) ont conçu une expérience qui donne une valeur de 0,84 femtomètre. Annoncée une première fois en 2010, cette valeur est aujourd'hui confirmée par l'analyse de données supplémentaires. Ces résultats divergents sont un enjeu pour les calculs théoriques, qu'ils entachent d'une incertitude importante.

Dans l'atome d'hydrogène, système formé d'un proton lié à un électron, la taille du proton joue sur son interaction électromagnétique avec l'électron. La charge électrique du proton étant répartie dans l'espace, son interaction avec l'électron (une particule ponctuelle, jusqu'à nouvel ordre) s'en ressent et dépend du rayon moyen de la distribution de charge du proton.

Comment mesurer ce rayon ? L'une des approches est l'analyse spectroscopique : on mesure l'écart d'énergie entre deux niveaux excités particuliers de l'électron. Cela permet d'estimer le rayon du proton, qui intervient dans le calcul théorique de cette énergie. La valeur obtenue ainsi est de 0,88 femtomètre.

R. Pohl et ses collègues ont procédé de façon similaire, mais en remplaçant l'électron de l'atome par un muon. Cette

particule a les mêmes propriétés, mais est 207 fois plus massive et de ce fait évolue dans une région plus proche du centre du proton. L'écart d'énergie entre niveaux excités est alors davantage sensible au rayon de charge du proton, et l'expérience a donné pour valeur environ 0,84 femtomètre. Les deux valeurs du rayon ne sont pas compatibles, mais aucune faille, expérimentale ou théorique, n'a été identifiée. L'existence d'une interaction proton-muon inconnue jusqu'ici expliquerait-elle ce résultat contradictoire ? C'est peu probable, car dans ce cas d'autres expériences très précises auraient dû la mettre en évidence. L'atome d'hydrogène semble garder encore quelques secrets.

→ S. B.

A. Antognini et al., *Science*, vol. 339, pp. 417-420, 2013

*R. Cabrera-Rubio et al., *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 96(3), pp.544-551, 2012

Astronomie

Ciel nuageux sur naine brune

Esther Buenzli, de l'Université de l'Arizona, et ses collègues ont utilisé simultanément les télescopes spatiaux *Hubble* et *Spitzer* pour sonder à différentes profondeurs l'atmosphère de la naine brune 2MASSJ22282829-431026. Ces astrophysiciens ont obtenu les premiers indices d'une structure atmosphérique en couches, probablement formées de nuages de compositions chimiques différentes.

Les naines brunes sont des astres trop peu massifs pour amorcer la fusion nucléaire de l'hydrogène. Néanmoins, elles ont emmagasiné de l'énergie pendant leur formation, énergie qui leur assure une température de plusieurs centaines de degrés. Ainsi, ces astres rayonnent dans l'infrarouge, gamme du spectre électromagnétique à laquelle sont sensibles les instruments de *Hubble* et *Spitzer*. C'est l'étude de la luminosité de l'astre dans ce domaine spectral qui a permis d'établir que l'atmosphère n'est pas homogène, mais structurée verticalement en couches nuageuses distinctes.

→ S. B.

E. Buenzli et al., *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 760, L31, 2013

Les télescopes spatiaux *Hubble* et *Spitzer* ont sondé l'atmosphère de la naine brune 2MASSJ22282829-431026 (ici une vue d'artiste).

NASA, ESA et JPL-Caltech

universcience présente

Palais
DÉCOUVERTE

les conférences

Palais de la découverte

entrée libre

mercredi 20 mars à 19h

Salut les aliens!

Chaque jour, les astronomes découvrent des nouvelles planètes autour d'étoiles lointaines. Certaines abritent peut-être la vie. Quelle tête peuvent bien avoir leurs habitants? À vous de l'imaginer sans complexe.

Avec les auteurs de la rubrique «Science & Fiction» de la revue
Pour la science: Roland lehoucq et Sébastien Steyer.

Avec le soutien de

POUR LA
SCIENCE

SCIENCE-VIE



plus

 programme complet sur
www.universcience.fr

Géophysique

Du magma encore plus profond

A cause de la chaleur interne de la Terre, le manteau solide et visqueux subit des mouvements convectifs entre le noyau et la croûte. En remontant des profondeurs, une partie des roches fond lorsque les conditions de température et de pression le permettent. Mais à quelle profondeur peut fondre le matériau mantellique ? Les géologues ont longtemps pensé que la zone de fusion partielle du manteau démarre entre 70 et 85 kilomètres de profondeur sous les dorsales océaniques. Cependant, certaines observations laissaient supposer l'apparition de roche fondue aux environs de 200 kilomètres. Rajdeep Dasgupta et son équipe de l'Université Rice, aux États-Unis, l'ont expérimentalement confirmé : la présence de dioxyde de carbone dans la roche permet à celle-ci de fondre dès 200 kilomètres de profondeur.

→ S. B.

R. Dasgupta et al., *Nature*, vol. 493, pp. 211-215, 2013

Neurobiologie

Petits et grands rêveurs

Les dormeurs se souviennent plus ou moins de leurs rêves au réveil. Jean-Baptiste Eichenlaub, de l'INSERM, et ses collègues l'ont expliqué par une différence de réactivité des circuits cérébraux de l'attention.

On pense qu'un rêve doit être rapidement suivi d'une phase d'éveil pour être mémorisé. Les neurobiologistes ont d'abord montré que les grands rêveurs se réveillent plus souvent, puis ils ont mesuré par électro-encéphalographie l'activité cérébrale de sujets endormis ou réveillés lorsqu'un son leur était présenté. Dans les deux cas, un type particulier d'activité cérébrale, associé à l'orientation involontaire de l'attention, était plus intense chez les grands rêveurs. Ces derniers seraient donc plus sensibles aux perturbations environnementales, d'où un sommeil plus léger et une meilleure mémorisation des rêves.

→ G. J.

J.-B. Eichenlaub et al., *Cerebral Cortex*, en ligne le 2 janvier 2013

Toxicologie

Pesticides contre amphibiens

Les amphibiens (grenouilles, tritons, salamandres, etc.) subissent un rapide déclin à l'échelle du monde entier. Les causes de ce déclin (maladies, changement climatique, pollution, disparition des habitats, etc.) sont encore débattues. Or une équipe germano-suisse a montré sur de jeunes grenouilles rousses (*Rana temporaria*) que l'exposition à des pesticides conduit à une forte mortalité, allant de 40 pour cent après sept jours à 100 pour cent après une heure, selon le produit testé.

Carsten Brühl et Annika Alscher, de l'Université de Coblenz-Landau, en Allemagne, et leurs collègues ont étudié en laboratoire l'effet de sept produits pesticides (quatre fongicides, deux herbicides et un insecticide) sur

des grenouilles rousses juvéniles (150 individus au total). Ils ont appliqué au sol humide de la cage de chaque grenouille une dose (quantité par unité de surface) de pesticide correspondant à 0,1, 1 ou 10 fois la dose maximale recommandée en contexte agricole.

Pour les fongicides *Headline* et *Captan Omya* administrés à la dose recommandée, la mortalité résultante des grenouilles était de 100 pour cent. Des niveaux importants de mortalité, allant de 40 à 60 pour cent, ont été obtenus avec les autres produits commerciaux testés à la même dose. Et les chercheurs ont aussi montré que les additifs du produit peuvent augmenter la toxicité...

→ M. M.

Scientific Reports, 24 janvier 2013



Un crapaud vert juvénile (*Bufo viridis*) dans un vignoble du Sud de l'Allemagne. L'impact des pesticides sur les amphibiens n'est actuellement pas pris en compte dans les procédures d'homologation.

DERNIÈRE minute...

BOISSONS LIGHT, RISQUE DE DIABÈTE

On savait que les boissons artificiellement sucrées (sodas) accroissent le risque de diabète dit de type 2, qui touche environ 2,7 millions de personnes en France. Une étude épidémiologique menée auprès de 66 118 femmes françaises a montré que les boissons *light* l'augmentent aussi, et ce encore plus que les sodas normaux : la différence atteint 59 pour cent pour 1,5 litre de boisson consommée par semaine !

Les édulcorants qui remplacent le sucre pourraient être en cause.

PROTONS ACCÉLÉRÉS PAR SUPERNOVA

Comment les protons du rayonnement cosmique acquièrent-ils leur haute énergie ? Pour une partie d'entre eux au moins, l'accélérateur est une explosion de supernova. C'est ce que confirme l'équipe du télescope spatial *Fermi*, qui a analysé les photons gamma provenant de deux supernovae.

Les caractéristiques de ces photons indiquent qu'ils sont créés par la désintégration de pions, particules instables elles-mêmes produites par l'impact des protons – accélérés par les ondes de choc de la supernova – sur le gaz du milieu interstellaire.

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





FONDATION ÉCOLOGIE D'AVENIR

INSTITUT DE FRANCE

COLLOQUE

“ ÉNERGIES RENOUVELABLES ET INTERMITTENCE: Quels défis ? Quelles solutions ? ”

Sous la direction de Pascal Colombani et Bernard Salha



Informations, programme et inscription:
WWW.FONDATIONECOLOGIEDAVENIR.ORG

JEUDI 18 AVRIL 2013
15H-19H

La Maison du Barreau
2 rue de Harlay – 75001 PARIS

ENTRÉE GRATUITE FONDATIONECOLOGIEDAVENIR.ORG
Réservation obligatoire - Places limitées

