

■ POUR LA

SCIENCE

Août 2014 - n° 442

science.fr

Édition

Aux origines des MYTHES

Une généalogie
retracée jusqu'à
la Préhistoire

POUR LA SCIENCE

www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

Groupe POUR LA SCIENCE

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier

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

Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Cerveau & Psycho

L'Essentiel Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef : Françoise Pétry

Rédactrice en chef adjointe : Bénédicte Salthun-Lassalle

Rédacteur : Sébastien Bohler

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Sylvie Sobelman,

Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, Caroline Vanhoove

Marketing : Élise Abib et Ophélie Maillet

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Presse et communication : Susan Mackie

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Anciens directeurs de la rédaction : Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique : Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Daphne Bavelier, Barbara Demeneix, Laurent Drissen,

Didier Grandjean, Matthias Grote, Eitan Haddock, Anthony

Hillairet, Jean Nabucet, Pascal Philippot, Christophe Pichon,

Sébastien Puechmaille, Philippe Usseglio-Polatera, Loïc Villain

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

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

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

SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Bouffaré. Tél. : 01 55 42 84 04

Espace abonnements :

http://tinyurl.com/abonnements-pourlascience

Adresse e-mail : abonnements@pourlascience.fr

Service des abonnements - 8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

Commande de livres ou de magazines :

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

DIFFUSION DE POUR LA SCIENCE

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tel : 04 88 15 12 41

Information/modification de service/réassort :

www.direct-editeurs.fr

Canada : Edipresse : 945, avenue Beaumont, Montréal,

Québec, H3N 1W3 Canada.

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

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

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

SCIENTIFIC AMERICAN Editor in chief : Mariette DiChristina.

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

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

Kate Wong. President : Steven Inchcombe. Executive Vice

President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public

français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou

les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans

la revue « Scientific American », dans les livres édités par

« Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la

Science S.A.R.L. », 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de 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. Li-

cence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est inter-

dit de reproduire intégralement ou partiellement

la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou

du Centre français de l'exploitation du droit de co-

pie [20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris].



Maurice Mashaal

rédacteur en chef

Arbres mythologiques

Dans nos contrées, la période estivale est propice à la contemplation du ciel nocturne. Loin des villes et de leur pollution lumineuse, les vacanciers pourront s'émerveiller du spectacle de la voûte céleste, immensité criblée d'étoiles dans laquelle nos ancêtres ont recherché de l'ordre et du sens – et en ont parfois trouvé.

Ces mêmes vacanciers s'amuseront probablement à identifier certaines constellations. Ils repéreront aisément la plus connue d'entre elles, la Grande Casserole, surnom de la Grande Ourse. Ce surnom évocateur n'existait évidemment pas aux époques reculées, où les animaux tels que bisons, ours ou élans peuplaient le quotidien et l'imaginaire des humains. De fait, la Grande Ourse est le vestige dans notre culture de mythes fort anciens, ceux dits de la Chasse cosmique où un animal, poursuivi par un chasseur, monte au ciel et se métamorphose en constellation.

De la classification du vivant à l'histoire des mythes.

Les mythes de la Chasse cosmique constituent une famille, avec des liens de parenté. Afin de reconstituer leur généalogie et celle d'autres familles de mythes, des anthropologues se sont inspirés des algorithmes qu'utilisent les biologistes pour établir des arbres de parenté entre espèces. L'analyse des traits caractéristiques des différents mythes d'une même famille permet ainsi d'établir un arbre généalogique, qui retrace de façon vraisemblable leurs transformations au fil des peuples et du temps, en remontant parfois jusqu'à la Préhistoire (voir *La généalogie des mythes*, page 22).

De la classification du vivant à l'histoire et l'anthropologie des mythes : un bel exemple où des concepts et des méthodes se transposent avec succès d'une discipline à une autre, et qui illustre, une fois de plus, une certaine unité de la science. ■

1 **Édito**

Actualités

4 **Les plus anciens organismes pluricellulaires**

6 **Perturbateurs endocriniens et qualité du sperme**



8 **Une carte des rivières polluées d'Europe**

9 **Le char de l'autoroute A304**

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

12 **Éclairage**
Le crédit d'impôt recherche, un bouc émissaire ?

Maurice Mashaal

14 **Entretien**
Comment nous sommes entrés dans l'Anthropocène

Jean-Baptiste Fressoz

18 **Homo sapiens informaticus**
Le zappeur et le chercheur

Gilles Dowek

20 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Dessine-moi une ville écologique !

Gérald Bronner

21 **Lu sur SciLogs.fr**
Les deux temps de la science et des médias

Richard Taillet

Ce numéro comporte deux encarts d'abonnement *Pour la Science* brochés sur la totalité du tirage.
En couverture : © Andrew Bzh /shutterstock.com

À LA UNE

22 **ANTHROPOLOGIE** **La généalogie des mythes**

Julien d'Huy

En analysant les traits caractéristiques des mythes par les mêmes méthodes qu'utilisent les biologistes pour découvrir les liens de parenté entre espèces, on retrace l'évolution de certaines familles de mythes depuis la Préhistoire.



30 **PHYSIQUE** **Les acrobaties des filaments liquides**

Neil Ribe, Mehdi Habibi et Daniel Bonn

Ils s'enroulent, oscillent, se plient, serpentent... Soumis à la gravité, les filets de miel, d'huile ou d'autres fluides visqueux ont des comportements étonnants et qui restent imparfaitement compris.



36 **MÉDECINE** **Mieux traiter le glaucome**

Christophe Baudouin, Alexandre Denoyer et William Rostène

Les traitements actuels de cette maladie de l'œil ont leurs limites. Mais de nouvelles pistes se dessinent pour les améliorer et pour en proposer d'autres, qui agiraient à un stade plus précoce.

44 **ÉTHOLOGIE** **Une course aux armements acoustiques**

William Conner

Les chauves-souris et d'autres prédateurs se servent des sons pour détecter leurs proies. Mais celles-ci ont développé des stratégies de camouflage acoustique.



52 **SCIENCES DE L'ÉDUCATION** **Apprendre grâce aux jeux vidéo**

Alan Gershenfeld

Les jeux vidéo pourraient transformer l'enseignement et l'éducation. Divers jeux éducatifs commencent déjà à apparaître...

58 **ASTROPHYSIQUE** **Dans l'attente de la prochaine supernova galactique**

Ray Jayawardhana

Quand une étoile explose en supernova, beaucoup de neutrinos, particules difficiles à détecter, sont émis. Les astrophysiciens espèrent capter ceux d'une supernova proche pour mieux comprendre la mort des étoiles.

64 **PALÉONTOLOGIE** **Traquer des fossiles au GPS**

Robert Anemone et Charles Emerson

Jusqu'à présent, la chance était le principal auxiliaire des prospecteurs de fossiles. Avec la mise au point d'une méthode de recherche des gisements de fossiles par satellite, la géolocalisation pourrait prendre le relais.

Rendez-vous

70 **Histoire des sciences**

Illustration botanique en Chine et en Inde

Martyn Rix

Aux XVII^e et XVIII^e siècles, les artistes asiatiques ont insufflé leur talent et leur style aux dessins qu'ils ont réalisés pour le compte de collectionneurs européens.

76 **Logique & calcul**

Indécidables utiles et inutiles

Jean-Paul Delahaye

Les affirmations sur la complexité sont souvent indécidables. Prises à titre d'axiomes, elles peuvent limiter l'incomplétude mathématique.

82 **Science & fiction**

Des vampires pas si imaginaires

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

84 **Art & science**

Des ferrofluides pour des œuvres de pointe

Loïc Mangin

86 **Idées de physique**

Du soleil pour chauffer... et refroidir

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

90 **Question aux experts**

Combien y a-t-il de planètes dans la Voie lactée ?

Arnaud Cassan

91 **Science & gastronomie**

La cuisson des pâtés lorrains

Hervé This

92 **À lire**

96 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

POUR LA
SCIENCE

Maintenant sur tablette et sur smartphone !

Téléchargez gratuitement
l'application « Pour la Science »

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

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



Disponible sur
Google play

Disponible sur
App Store





© A. El Albani et al./PLUS ONE

Le bassin sédimentaire de Franceville, au Gabon, a livré de nombreux fossiles. Mesurant plusieurs centimètres de longueur, ces fossiles ont des structures complexes et variées : des lobes (a, b), une forme allongée (c) ou une combinaison des deux (d, e). Datés de 2,1 milliards d'années, ils représentent les premiers organismes pluricellulaires connus.

Paléontologie

Les plus anciens organismes pluricellulaires

Près de 400 fossiles d'organismes pluricellulaires ont été découverts dans le bassin sédimentaire de Franceville, au Gabon. Ce riche écosystème marin, qui date de 2,1 milliards d'années, est désormais mieux connu.

De quand datent les premiers organismes pluricellulaires ? D'après un site australien, les spécialistes pensaient qu'ils étaient apparus il y a environ 600 millions d'années. Avant cette période, seuls des organismes unicellulaires (bactéries et algues) étaient attestés. Mais en 2008, l'équipe d'Abderrazak El Albani, de l'Institut de chimie des milieux et matériaux de l'Université de Poitiers et du CNRS, a mis au jour près de Franceville, au Gabon, des fossiles d'organismes pluricellulaires beaucoup plus anciens : 2,1 milliards d'années. Après plusieurs campagnes de fouilles, les chercheurs ont désormais retrouvé près de 400 fossiles qui révèlent de nombreuses informations sur cet écosystème ancien.

Le gisement de Franceville est exceptionnel à plus d'un titre. Les fossiles y sont nombreux et bien préservés. En effet, le bassin sédimentaire de Franceville a été

très peu perturbé par l'activité tectonique de la planète. C'est le bassin sédimentaire de cet âge le mieux conservé au monde.

Les fossiles se trouvent dans des couches sédimentaires d'argiles noires riches en matière organique. Les géologues en ont déduit les caractéristiques environnementales de la région à cette époque : un milieu marin peu profond et riche en oxygène, conditions qui étaient favorables au développement de formes de vie complexes et organisées.

Lors des premières campagnes de fouille, 250 fossiles avaient été découverts par l'équipe d'A. El Albani. L'analyse de certains rapports isotopiques (carbone, soufre) a confirmé qu'il s'agit bien de structures organiques. Et la datation, effectuée par plusieurs méthodes radio-isotopiques, situe l'émergence de cet écosystème à environ 2,1 milliards d'années.

Après plusieurs années de recherche sur le terrain, ce sont aujourd'hui près de 400 spécimens qui ont été étudiés. Les chercheurs se sont aussi intéressés aux processus de fossilisation. Ils ont montré que la pyritisation – la transformation de la matière organique en pyrite (disulfure de fer) du fait d'une activité bactérienne – a été rapide. C'est ce qui a permis de préserver de nombreux détails de la structure de ces macrofossiles, de tailles comprises entre 1 et 17 centimètres.

L'équipe de A. El Albani a utilisé la microtomographie à rayons X pour étudier la morphologie ainsi que les structures interne et externe des fossiles. Ces derniers présentent diverses formes (voir les photographies) : des lobes sphériques ou allongés, des disques et des agrégats de petites billes. La structure de la pyrite évoque des textures gélatineuses et molles, uniformes ou grumeleuses. La taille et la structure des fossiles indiquent que ces organismes étaient plu-

ricellulaires. Des microfossiles carbonés de 50 à 80 micromètres complètent cet inventaire.

L'émergence d'organismes pluricellulaires sur Terre serait ainsi antérieure d'environ 1,5 milliard d'années à ce qu'indiquait le site australien. Les organismes gabonais seraient apparus grâce à la première brusque augmentation du contenu en oxygène de l'atmosphère et des eaux peu profondes, il y a entre 2,3 et 2 milliards d'années.

Ce phénomène est similaire à celui de l'« explosion édiacarienne », il y a 600 millions d'années, qui a vu apparaître la faune complexe de l'Édiacarien dans ce qui allait devenir l'Australie. Cependant, le premier pic d'oxygène n'aurait duré que 200 à 300 millions d'années. La concentration d'oxygène dans l'atmosphère a ensuite diminué, ce qui aurait conduit à l'extinction des organismes du bassin gabonais.

Sean Bailly

A. El Albani et al., PLoS ONE, vol. 9(6), e99438, 2014

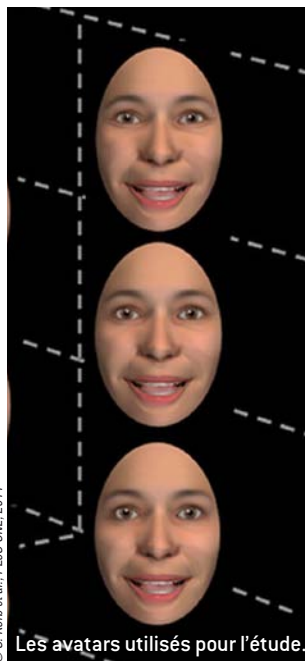


Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



Neurosciences

Comment reconnaît-on un sourire sincère ?



© S. Korb et al., PLoS ONE, 2014

Les avatars utilisés pour l'étude.

Pour passer une bonne soirée, mieux vaut savoir reconnaître si le sourire de votre interlocuteur exprime un ennui poli ou une réelle joie de discuter avec vous. Comment le décodons-nous ? Sebastian Korb, de l'Université du Wisconsin-Madison, et ses collègues ont montré que nous évaluons la sincérité d'un sourire en le jouant en miniature, grâce à des microcontractions invisibles des muscles impliqués.

Dans cette étude, un sourire authentique est défini comme exprimant une réelle émotion positive (joie, amusement, etc.). Selon la théorie de la cognition incarnée, nous comprenons les émotions d'un interlocuteur en activant les mêmes schémas musculaires que lui. Pour la vérifier

dans le cadre de l'évaluation des sourires, les chercheurs ont créé de petites vidéos d'animation où des avatars présentaient 19 types différents de sourire, qui simulaient la contraction plus ou moins intense de divers muscles faciaux. Ces sourires ont été montrés à 31 participants, pendant qu'on enregistrait chez eux l'activité électrique dans ces mêmes muscles. Chaque fois, le participant devait évaluer l'authenticité du sourire sur une échelle de 1 (pas du tout authentique) à 100 (très authentique). Les mesures ont révélé que les participants effectuaient bien des microcontractions mimétiques, et que plus elles étaient intenses, plus le sourire était jugé authentique.

Guillaume Jacquemont

PloS ONE, en ligne le 11 juin 2014

Immunologie

Une mémoire immunitaire chez le fœtus

L'environnement fœtal est considéré comme stérile, aussi pensait-on que les nouveau-nés avaient un système immunitaire immature, qui n'acquerrait une mémoire des infections qu'après la naissance. L'équipe de Richard Lo-Man, du laboratoire Régulation immunitaire et vaccinologie, à l'Institut Pasteur à Paris (U1041, Inserm), vient de prouver le contraire.

Chez l'enfant et l'adulte, parmi les cellules chargées d'éliminer les microbes – les lymphocytes T –, certaines gardent une mémoire des germes rencontrés et réagissent ainsi plus vite à une nouvelle agression. On pensait que ces lymphocytes T « mémoire » n'existaient pas encore chez le nouveau-né en bonne santé. Dans des conditions stériles, les biologistes ont prélevé et analysé les lymphocytes T du cordon ombilical de 48 nouveau-nés en bonne santé, à la naissance. Ils ont ainsi détecté une petite population de cellules



Sebastian Kaulitzki/shutterstock.com

qui présentaient des caractéristiques de lymphocytes T mémoire.

Ces cellules ne provenaient pas de la mère, car elles portaient bien le patrimoine génétique de l'enfant. Et elles se comportaient *in vitro* comme des lymphocytes T mémoire, produisant une réponse inflammatoire. Comment se sont-elles activées *in utero* ? Kjersti Aagaard, du Collège de médecine Baylor, à Houston, et ses collègues apportent peut-être un début de réponse. Ces biologistes ont montré que le placenta, que l'on pen-

sait stérile, abrite une population de bactéries non pathogènes – un microbiote tel que ceux peuplant l'intestin, la bouche, le nez, le vagin ou la peau. La constitution d'une mémoire immunitaire de ces bactéries (dans l'hypothèse où le fœtus se trouverait exposé au microbiote placentaire) pourrait être une première étape de la formation du système immunitaire anti-infectieux.

Marie-Neige Cordonnier

Science Translational Medicine, vol. 6, 238ra72 et 237ra65, 2014

Des regrets chez les rats

Le regret est associé à la prise de conscience, après un choix, qu'une autre action aurait été plus profitable. Adam Steiner et David Redish, de l'Université du Minnesota aux États-Unis, ont montré que les rats présentent un comportement et une activité cérébrale qui en sont caractéristiques, dans des expériences où ils délaissent une promesse de nourriture rapide puis tombent sur une moins bonne occasion. Ce serait la première fois qu'on met en évidence le regret chez un autre animal que l'homme.

Mort d'une étoile Wolf-Rayet

Les étoiles dites de type Wolf-Rayet ont des masses supérieures à 20 masses solaires. Ces astres massifs sont rares et difficiles à étudier, car ils émettent un fort vent stellaire qui les dissimule dans un nuage dense de matière. Les astronomes supposaient que ces étoiles terminaient leur vie en supernovæ, mais ils n'avaient pas d'observations directes. Cette hypothèse est maintenant confirmée par l'équipe américano-israélienne dirigée par Avishay Gal-Yam, de l'Institut Weizmann, grâce à l'observation d'un stade précoce d'une supernova.

Pétrole et séismes

Depuis quelques années, l'activité sismique augmente notablement dans l'Oklahoma, aux États-Unis. Katie Keranen, de l'Université Cornell, et ses collègues ont lié ce phénomène à l'extraction d'hydrocarbures non conventionnels. Le traitement de ces derniers produit une grande quantité d'eau résiduelle, qui est massivement injectée dans le sous-sol. Cela augmenterait la pression de l'eau interstitielle et déclencherait des séismes dans un rayon de 35 kilomètres autour des principaux puits.

Santé

Perturbateurs endocriniens et qualité du sperme

La qualité du sperme baisse. Une équipe germano-danoise propose un test pour évaluer de façon systématique l'effet des polluants environnementaux sur l'activation des spermatozoïdes.



Spermatozoïdes humains observés au microscope à transmission.

On soupçonne 800 substances chimiques synthétiques environ d'être des perturbateurs endocriniens, c'est-à-dire des molécules qui perturbent le fonctionnement des hormones. Toutefois, l'effet de la plupart d'entre elles n'a pas encore été mesuré sur l'homme, faute de tests adéquats. Avec leurs collègues, Christian Schiffer et Astrid Müller, du Centre d'études et de recherche européennes avancées de Bonn, en Allemagne, ont mis au point un test qui leur a permis d'analyser l'effet direct de 96 perturbateurs endocriniens sur la qualité du sperme.

Pourquoi le sperme ? Si l'évolution de la fertilité masculine reste difficile à évaluer, diverses études suggèrent une baisse de qualité qui pourrait être due à des facteurs environnementaux. Ainsi, selon une vaste étude récente de l'Institut de veille sanitaire, la concentration de spermatozoïdes des Français a continuellement baissé entre 1989 et 2005. La proportion de spermatozoïdes présentant une morphologie normale a aussi diminué. Ces deux tendances étant plus marquées en Aquitaine et Midi-Pyrénées, des régions à forte activité agricole, l'étude suggère

un effet non négligeable des facteurs environnementaux.

Parmi eux, certains perturbateurs endocriniens, tels que le pesticide DBCP ou le phtalate DEHP, ont déjà été identifiés comme pouvant altérer les caractéristiques du sperme. Mais pour de nombreux autres, l'étude reste à faire.

Les biologistes de Bonn ont mis au point une méthode pour tester de façon systématique leur effet sur le fonctionnement des spermatozoïdes. Leur test concerne l'entrée du calcium dans le spermatozoïde, qui déclenche une voie de signalisation essentielle pour son activation. Les biologistes ont d'abord mesuré l'évolution de la concentration de calcium dans les spermatozoïdes en l'absence et en présence de perturbateur endocrinien (une augmentation signale une activation des spermatozoïdes).

Sur les 96 substances testées, 33 déclenchaient une augmentation de la concentration en calcium. Et cette augmentation était bien due à une entrée de calcium par le canal dédié à cette fonction dans les spermatozoïdes des mammifères, CatSper.

L'activation des spermatozoïdes se manifeste notamment

par une motilité plus importante et la libération d'enzymes qui facilitent l'entrée dans l'ovule. Les biologistes ont donc étudié par vidéo-microscopie la motilité des spermatozoïdes en présence des perturbateurs endocriniens, et ont constaté qu'elle était perturbée.

La libération des enzymes était aussi stimulée. Cette activation n'est pourtant pas synonyme d'une meilleure efficacité des spermatozoïdes. Le canal CatSper est activé par des hormones produites par les cellules qui entourent l'ovule. Les perturbateurs entrent en compétition avec ces hormones, et pourraient perturber la fécondation en déclenchant l'activation trop tôt, ou en empêchant les hormones d'agir au bon moment.

Lancé en décembre 2013 par l'Institut de veille sanitaire, le réseau européen Hurgent vise à améliorer la surveillance de la qualité du sperme. Le test de Bonn constituerait un indicateur intéressant, aux côtés d'autres tests qui évalueraient les actions potentielles des substances en amont et sur les phases précoces du développement du système reproducteur.

M.-N. C.

Ch. Schiffer et al., EMBO reports, vol. 15(7), pp. 758-765, 2014

39

pour cent

en moyenne des spermatozoïdes d'un Français avaient une morphologie normale en 2005, contre 61% en 1989.

Géosciences

Comment sont nés les premiers continents

Lors du refroidissement de la planète après sa formation, une croûte s'est rapidement formée. La nature de cette croûte primitive est mal connue, car il en reste peu de traces. Jesse Reimink et ses collègues, de l'Université d'Alberta au Canada, se sont intéressés à la formation des premiers continents à partir de cette croûte primitive. Ils ont analysé la composition de roches continentales parmi les plus anciennes connues, datées de 4,02 milliards d'années. Ces géochimistes sont parvenus à la conclusion que ces continents sont nés par des mécanismes similaires à ceux qui ont formé l'Islande.

La croûte terrestre comprend aujourd'hui la croûte océanique et la croûte continentale, qui se distinguent par leur composition (roche basaltique pour la première et granitique pour la seconde). Les continents actuels se sont constitués grâce au processus de subduction lié à la tectonique des plaques. Lorsqu'une plaque plonge dans le



Les remontées de magma qui ont formé les premiers continents pourraient être du même type que celles qui ont fait naître l'Islande.

manteau, ses éléments les moins denses remontent et engendrent un volcanisme à l'origine des continents. Mais la tectonique des plaques n'était probablement pas active il y a quatre milliards d'années.

Les géochimistes ont isolé des échantillons de gneiss (une roche granitique) provenant du complexe rocheux nommé Acasta Gneiss, au Nord-Ouest du Canada, et qui dateraient de l'époque des premiers continents. La pauvreté des échantillons en aluminium, leur richesse en fer

et leurs concentrations en terres rares suggèrent que la roche s'est formée à partir d'un magma à faible profondeur, tel celui des points chauds ou des rifts. Le magma se serait incorporé à la croûte préexistante et aurait formé les premiers continents. Ce scénario rappelle celui de la formation de l'Islande, île qui est née à partir d'un point chaud situé sous la dorsale médio-océanique de l'Atlantique Nord.

S. B.

J. Reimink et al., *Nature Geoscience*, en ligne le 25 mai 2014

Commandes partagées

Rien de plus simple en apparence que de manger ou mâcher un chewing-gum. Cette activité nécessite pourtant une coordination complexe des muscles de la mâchoire et de la langue. Edward Stanek, de l'Université Duke, et ses collègues ont reconstitué les chaînes de commande des muscles de ces deux organes grâce à un virus couplé à une molécule fluorescente. Ils ont ainsi montré que ces chaînes de commande partagent certains neurones, ce qui faciliterait la coordination.

Gène hérité de Denisova

Dans les hauts plateaux du Tibet, le manque d'oxygène accentue le risque de maladies cardiovasculaires... sauf pour les autochtones. En cause : un gène dont le variant est très rare. Or ce gène serait hérité de l'homme de Denisova, d'après l'équipe de Rasmus Nielsen à Berkeley. C'est ainsi à l'« homme de l'Altai », qui vivait en Sibérie il y a 40 000 ans, que les Tibétains devraient l'adaptation de leur sang à la vie en altitude.

Physique des particules

Les neutrinos, pas si exotiques

Les neutrinos sont les trublions du modèle standard de la physique des particules. De nombreux aspects de leur nature restent à éclaircir et les hypothèses sont nombreuses : les neutrinos pourraient être identiques à leurs antiparticules, il pourrait en exister un quatrième type, etc. Des hypothèses difficiles à tester, car les neutrinos interagissent très peu avec la matière ordinaire. Or les équipes des expériences EXO-200 et MINOS viennent de présenter leurs résultats les plus récents sur ces particules étranges.

Si le neutrino est identique à son antiparticule, un certain pro-

cessus nucléaire devrait être possible : la double désintégration bêta sans émission de neutrinos. Dans certains noyaux instables, deux neutrons peuvent se désintégrer simultanément en deux protons et en émettant deux électrons et deux antineutrinos. Mais en théorie, si le neutrino et l'antineutrino sont identiques, l'antineutrino émis par l'une des deux désintégrations peut être capté et provoquer la deuxième désintégration. Pour l'observateur, il y a alors une double désintégration bêta sans émission d'antineutrinos. Les physiciens de l'expérience EXO-200 ont cherché pendant deux ans à détecter une telle double désin-

tégration dans le xénon 136, un noyau *a priori* propice. En vain.

Le neutrino ne semble donc pas identique à sa propre antiparticule. Mais existe-t-il une quatrième famille de neutrinos, hypothèse suggérée par certaines expériences ? On parle de neutrinos stériles, car ils interagiraient encore moins que les autres avec la matière. Or les chercheurs de l'expérience MINOS, au Fermilab, ont annoncé n'avoir enregistré aucun signe de neutrino stérile. Des résultats négatifs qui resserrent l'étau autour des caractéristiques des neutrinos.

S. B.

Nature, vol. 510, pp. 229-234, 2014



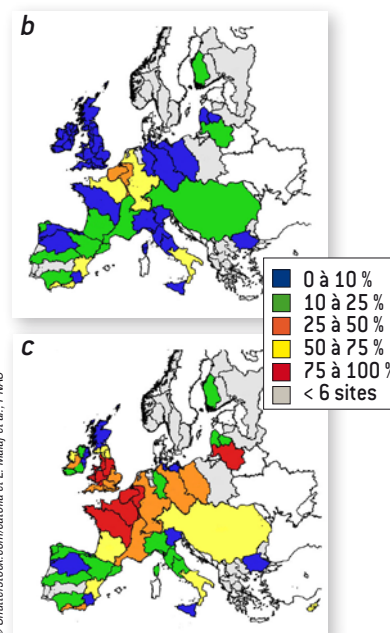
© Collaboration EXO-200

La cuve du détecteur EXO-200, qui traque les doubles désintégrations bêta sans émission de neutrinos.

Environnement

Une carte des rivières polluées d'Europe

Une analyse à l'échelle européenne de 223 composés chimiques présents dans les eaux douces met en évidence les risques toxiques pour l'écosystème – et les limites actuelles de leur suivi.



L'Europe présente un système fluvial dense et varié (a). Les risques aigus (b) et chroniques (c) de toxicité de certains polluants pour les espèces d'eau douce ont été cartographiés à l'échelle du continent européen. Le pourcentage indique la part des stations de prélèvement où au moins un composé chimique dépasse le seuil de risque aigu ou chronique. Les régions ayant moins de six stations n'ont pas été prises en compte.

De nombreuses études ont montré ces dernières années que les cours d'eau européens sont contaminés par des substances toxiques. Mais cette pollution étant souvent limitée à une région ou impliquant un petit nombre de composés, il était difficile de l'extrapoler à l'échelle d'un continent pour mettre en évidence l'aspect global de la contamination. Afin de dresser un tel tableau, une équipe de chercheurs allemands et français a utilisé les données disponibles dans la base de données *Waterbase* de l'Agence européenne pour l'environnement : ils ont estimé les risques environnementaux liés à 223 composés organiques dans 91 bassins fluviaux d'Europe.

Egina Malaj, du Centre Helmholtz de recherche sur l'environnement à Leipzig en Allemagne, et ses collègues ont analysé les relevés effectués dans près de 4000 sites. À partir de ces données, ils ont estimé le risque de toxicité aiguë ou chronique pour les invertébrés, les poissons et les

algues. Ces seuils de risques ont été calculés à partir des concentrations qui entraînent un risque mortel de 50 pour cent (noté CL50) pour trois représentants des principaux groupes d'organismes vivant en eau douce. Ces seuils de toxicité ont été évalués en laboratoire ou par des modélisations.

D'après les résultats de cette analyse, les polluants organiques entraînent un risque aigu pour la biodiversité dans 14 pour cent des sites, et un risque chronique pour 42 pour cent des sites. Les pesticides sont responsables de la plupart des risques de toxicité aiguë. Par ailleurs, l'étude met en évidence un lien clair entre la perte de biodiversité des cours d'eau d'une région et l'augmentation du risque de toxicité chimique pour les poissons et les invertébrés. L'utilisation anthropique des terres (urbanisme, agriculture) en amont augmente aussi les risques.

L'équipe pointe cependant les limites de cette étude, liées à la nature et la qualité des données disponibles.

Les risques associés aux substances toxiques sont probablement sous-estimés, affirment les chercheurs. En effet, la densité et la performance des réseaux de suivi de la qualité des eaux sont inégales selon les pays. Les méthodes de dosage utilisées présentent parfois des seuils de sensibilité insuffisants. Enfin, encore trop peu de composés chimiques sont étudiés.

D'ailleurs, selon l'analyse, les pays disposant des meilleurs réseaux de surveillance (notamment la France, qui représente un tiers des sites européens analysés) obtiennent les plus mauvais résultats quant à la qualité de l'eau. Il existe donc un biais, qui laisse penser que les pollutions sont sous-estimées à l'échelle européenne et qu'un grand nombre de cours d'eau européens sont notablement touchés par les substances toxiques de nature organique.

S. B.

E. Malaj et al., PNAS, en ligne le 16 juin 2014

Astrophysique

Une étoile hybride ?

Que cache en son cœur l'étoile HV 2112 ? De l'extérieur, cet astre semble appartenir à la classe des supergéantes rouges, des étoiles parmi les plus volumineuses, au rayon supérieur à 500 fois celui du Soleil, mais dont la masse est seulement 10 fois plus élevée. Emily Levesque, de l'Université du Colorado, et ses collègues pensent que HV 2112, située dans le Petit Nuage de Magellan, serait autre chose : un objet de Thorne-Żytkow, autrement dit une supergéante rouge contenant une étoile à neutrons en son cœur.

Le physicien américain Kip Thorne et l'astronome polonaise Anna Żytkow ont imaginé ces objets en 1977. Leur mécanisme de formation n'est pas parfaitement connu, mais ces étoiles pourraient être créées, par exemple, dans un système binaire dont l'un des membres aurait évolué plus rapidement pour devenir une étoile à neutrons ; cet objet compact aurait ensuite été englouti avant de sombrer vers le cœur de la seconde étoile, elle-même parvenue au stade de supergéante rouge. Ces astres hypothétiques seraient le siège d'une nucléosynthèse exotique. Ils seraient plus riches en certains éléments tels que le lithium, le rubidium et le molybdène. Or E. Levesque et ses collègues ont détecté une telle composition dans le spectre de l'étoile HV 2112.

S. B.

E. M. Levesque et al., MNRAS, à paraître, 2014

Insolite

Un OVNI martien

La Marine américaine vient-elle de repêcher un OVNI dans les eaux au large de Hawaï ? Presque ! Il s'agit d'un nouveau dispositif d'atterrissage mis au point par la NASA pour les futures missions vers la planète Mars. L'agence américaine vient d'effectuer le premier test de ce système, nommé LDS (Désaccélérateur supersonique à faible densité). Il a été largué par un ballon stratosphérique à 40 kilomètres d'altitude.



© NASA/JPL-Caltech

Archéologie

Le char de l'autoroute A304

La construction de l'A304, qui reliera les Ardennes aux ports de la mer du Nord, a entraîné la découverte près de Warcq d'une atypique tombe gauloise. Émilie Millet, spécialiste du mobilier métallique et membre de l'équipe mixte du Conseil général des Ardennes et de l'INRAP qui fouille le site en urgence, nous renseigne sur les découvertes en cours.

De quel type de tombe s'agit-il ?

Émilie Millet : D'une tombe à char gauloise, c'est-à-dire d'une vaste chambre funéraire, de 15 mètres carrés, dans laquelle un Gaulois de haut rang a été déposé sur un char accompagné d'objets personnels – ses armes, ses parures, ses objets de toilettes, etc. – ainsi que de vaisselle et d'offrandes alimentaires.

La tombe de Warcq contenait un char à deux roues, dont il ne reste que les bandages de fer et des pièces de bois qui constituaient la caisse. Nous y avons aussi trouvé des céramiques sur lesquelles reposait un plateau en bois couvert de feuilles d'or. Une plaque de fer placée près de la jambe droite du mort pourrait correspondre au fourreau de son épée.

Cette tombe à char gauloise serait donc typique ?

É. M. : Pas tout à fait ! Si l'ambiance générale évoque les pratiques gauloises connues, certains objets du mobilier funéraire étonnent. Le défunt portait un collier souple, décoré de feuilles d'or. D'étonnants petits cabochons, sortes de boutons de verre d'une forme inédite, dessinent des alignements autour du squelette. Décor de son habit ou du char ? Nous l'ignorons. Dans un des angles de la tombe, nous avons découvert un long manchon en bronze enserrant du bois, qui pourrait constituer le joug des chevaux ; il est surmonté de six anneaux passe-guides, qui suggèrent un char tiré par trois chevaux ; or, chose aussi inédite, quatre chevaux ont été déposés dans la tombe... De même, le décor géométrique d'une céramique ne se retrouve pas dans les céramiques locales de même époque. Une pièce importée ?

Tous ces détails inhabituels nous troublent d'autant plus que la petite fibule, c'est-à-dire l'agrafe vestimentaire retrouvée au niveau de la ceinture du défunt, invite à dater la tombe du II^e siècle avant notre ère, époque pour laquelle peu d'ensembles funéraires sont connus.

Quelles sont les prochaines recherches prévues ?

É. M. : Après leur prélèvement, les objets métalliques feront l'objet d'un nettoyage minutieux en laboratoire par le restaurateur Renaud Bernadet. Pour l'heure, ils sont en mauvais état de conservation et se chevauchent



Émilie Millet est archéologue à l'INRAP (Lab. ArTeHis, UMR 6298).

parfois dans la tombe. Afin de ne pas perdre d'informations, les blocs d'objets prélevés et les objets métalliques seront radiographiés. Nous pourrions alors lancer des analyses afin de comprendre leur fonction et d'affiner leur datation. Pour le moment, cette tombe à char ardennaise présumée du II^e siècle avant notre ère soulève encore de nombreuses interrogations, mais tout semble indiquer que nous avons affaire à l'inhumation d'un personnage de haut rang, qui bénéficiait d'échanges à longue distance.

François Savatier

Génétique

Les mutations silencieuses haussent le ton

Le code génétique est dit dégénéré : à chaque codon – un « mot » du génome constitué de trois « lettres » (ou nucléotides) – correspond un seul acide aminé, mais l'inverse n'est pas vrai. Certains acides aminés peuvent être ainsi codés par deux à six codons différents. Dès lors, les mutations qui transforment un codon en un autre codon de même sens sont sans incidence sur la composition de la protéine synthétisée. On les nomme, fort logiquement, mutations silencieuses.

Ce silence se révèle tout relatif. Fabienne Chevance, à l'Université de l'Utah, et deux collègues ont montré que les mutations silencieuses peuvent avoir un effet considérable sur le niveau d'expression des gènes. Chez la salmonelle, une bactérie commune responsable d'intoxications alimentaires, ils ont évalué la vitesse de traduction des 64 codons du code génétique et montré qu'elle peut varier considérablement.

Toute la difficulté était de mesurer la vitesse des ribosomes (organites qui traduisent l'ARN en protéines) sans modifier d'autres paramètres sensibles. Pour ce faire, les chercheurs ont détourné un mécanisme de régulation génétique nommé atténuation. Chez les bactéries, l'atténuation de certains gènes est provoquée par le passage du ribosome dans une région située en amont du produit de transcription de ces gènes. Il est donc possible d'utiliser cette région régulatrice comme un banc d'essai pour mesurer la vitesse du ribosome sur différents codons.

Ce système astucieux, qui aura nécessité cinq ans de travail, a permis aux chercheurs d'évaluer la vitesse de traduction de tous les codons. Et de mettre en évidence un effet parfois considérable : sur certains codons rares, la vitesse du ribosome est réduite d'un facteur cinq par rapport au codon le plus fréquent. « Les mutations silencieuses ne le sont pas », résume Kelly Hughes, responsable de l'équipe de recherche. Pourtant, déplore-t-il, l'idée que ces mutations n'ont qu'une influence négligeable est encore trop répandue chez les chercheurs en génomique.

Yvan Pandelé

F. F. V. Chevance et al., PLOS Genetics, en ligne le 5 juin 2014

Archéologie

Le plus vieux des pantalons

Les pantalons auraient été une invention de cavalier. C'est ce que semble confirmer le pantalon de quelque 3000 ans qu'une équipe germano-chinoise dirigée par Mayke Wagner, de l'Institut archéologique allemand (Berlin), et par Xiao Li, de l'Université Renmin de Chine (Pékin), vient de découvrir dans une tombe du bassin du Tarim, en Asie centrale.

Le pantalon habitait l'un des défunts de la tombe M21 de la nécropole de Yanghai, située à 43 kilomètres de la ville moderne de Tourfan. La nécropole est attribuée à la culture de Subeshis, probablement protoscythique. Le défunt, âgé d'une quarantaine

d'années, a été couché sur le côté dans une chambre funéraire de bois, en compagnie de 41 objets d'or, de bronze, de bois, de pierre, de coquillage, de laine et de cuir. Parmi eux, la présence d'une bride de cuir ornée de boutons de cuivre et dotée d'un mors de bois prouve qu'il s'agissait d'un cavalier. Une hache de guerre atteste qu'il s'agissait aussi d'un guerrier. La datation de la laine du pantalon montre qu'elle a été récoltée entre 1056 et 940 avant notre ère.

Le pantalon est fait de trois pièces, deux rectangles évasés vers le haut et un renfort pour l'entrejambe, que, selon toute vraisemblance, une même personne a tissées et cousues. Avant de mettre le renfort, la couturière (ou le couturier) a pris soin de placer les manchons à environ 60 degrés l'un de l'autre, ce qui lui a permis, en repliant le renfort d'entrejambe, de coudre sans être gêné par des plis. Une fois cousu, ce renfort se plisse lorsqu'on enfle le pantalon pour marcher, et il se déplie pour se placer en protection de l'entrejambe dès que l'on enfourche un cheval. Résultat : un vêtement qui permet de marcher et de monter à cheval...

F. S.

Quaternary International, en ligne le 22 mai 2014



Mayke Wagner-Dal

Mercure, une naissance violente

Le noyau métallique de Mercure représente environ 70 pour cent de la masse de la planète, une proportion inhabituellement élevée. En simulant les débuts du Système solaire sur ordinateur, Erik Asphaug, de l'Université de l'Arizona, et son collègue l'ont expliqué par une ou plusieurs collisions entre embryons planétaires. Ces collisions auraient dépouillé le proto-Mercure de son manteau rocheux et l'auraient éjecté de son orbite initiale, l'empêchant ainsi de recapturer de la matière.

Volcans sous-marins, source de tsunamis

Les tsunamis de près de 10 mètres de hauteur sont provoqués par des séismes sous-marins de magnitude parfois modérée. Rebecca Bell, de l'Imperial College à Londres, et ses collègues ont étudié les données géophysiques liées à deux tsunamis qui ont touché la côte néo-zélandaise en 1947. Les géologues ont montré que des volcans sous-marins éteints auraient bloqué un processus de subduction de plaques tectoniques. L'énergie accumulée s'est ensuite brutalement libérée et a produit le séisme et le tsunami.

Le diable de mer hante les profondeurs

On observe souvent les raies *Mobula tarapacana*, surnommées diables de mer chiliens, près de la surface des océans où elles profitent de la chaleur du Soleil. Mais en suivant 15 raies, l'équipe de Simon Thorrold, de l'Institut océanographique de Woods Hole, a montré qu'elles plongent régulièrement à près de 2000 mètres de profondeur, probablement pour se nourrir.

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Actuellement
en kiosque

DOSSIER POUR LA SCIENCE

LES 10 ANS D'OPPORTUNITY

Le rover a détecté
de l'eau sous
plusieurs formes
et en divers endroits



DOSSIER POUR LA SCIENCE - ASTRONOMIE - TECHNOLOGIE SPATIALE - EXOBIOLOGIE

Mars

Embarquement immédiat

NOUVELLE
FORMULE

LA VIE SUR MARS

La planète
a été propice
à l'apparition de la vie

LES MÉTÉORITES

Que nous apprennent
les morceaux de Mars
tombés sur Terre ?



N° 84 Juillet-Septembre 2014

pouirlascience.fr

Belgique : 12,90 € - Canada : 11,50 € - États-Unis : 11,50 € - France : 6,95 € - Allemagne : 12,90 € - Espagne : 12,90 € - Italie : 12,90 € - Japon : 12,90 € - Royaume-Uni : 12,90 € - Suisse : 15,00 €

n° 84 - 120 pages - prix de vente : 6,95 €

www.pouirlascience.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale



Disponible sur



ÉCLAIRAGE

Le crédit d'impôt recherche, un bouc émissaire ?

Les difficultés de la recherche publique ravivent les attaques contre cette aide fiscale en faveur de la recherche privée. En ligne de mire : le coût pour l'État de ce crédit d'impôt ainsi que ses bienfaits réels sur l'économie et l'emploi scientifique.

Maurice MASHAAL

De nouveau, un malaise agite le monde de la recherche scientifique publique en France, et la grogne promet d'être plus visible encore après la trêve de l'été. Espoirs déçus après le changement de gouvernement, crédits et recrutements en baisse, multiplication des emplois précaires, insistance abusive sur la recherche « au service de la société », effets en partie négatifs des réformes de l'organisation de la recherche et de l'autonomie des universités, etc. : les raisons sont diverses et complexes.

L'une des cibles de l'argumentation des contestataires face aux financements, jugés insuffisants, de la recherche publique est le crédit d'impôt [en faveur de la] recherche, ou CIR, octroyé aux entreprises. Ce dispositif fiscal destiné à stimuler la recherche dans le secteur privé n'est qu'un élément parmi d'autres dans la vaste question du « système français de recherche et d'innovation », mais il a la particularité de représenter aujourd'hui un coût important pour l'État, et donc de focaliser des revendications.

Ainsi, s'inquiétant de la crise de l'emploi scientifique en France, le Conseil scientifique du CNRS soulignait dans un texte publié en mars dernier que le CIR avait, entre 2006 et 2011, « augmenté considérablement (de 980 à 5 100 millions d'euros), sans aucun effet d'entraînement observable sur la recherche privée ». Autre exemple : une motion de la section 25 du Conseil national des universités, adoptée

le 3 février 2014, affirmait : « Moins de 2 % du crédit d'impôt recherche suffirait à boucler le budget des universités. C'est donc par choix politique que l'argent de la recherche est donné au privé ».

Le CIR est-il un dispositif fiscal trop coûteux pour l'État ? Quelle est son efficacité ? Faut-il le réformer ? Faut-il réduire son coût et utiliser les sommes ainsi économisées pour donner de l'oxygène à la recherche publique ? Telles sont quelques-unes des questions suscitées par le CIR. Les réponses, on s'en doute, ne sont pas unanimes...

L'EFFET DU CRÉDIT D'IMPÔT RECHERCHE n'est « probablement pas à la hauteur de son coût pour l'État », selon un rapport de l'OCDE publié en juin 2014.

Expliquons d'abord en quoi consiste le CIR. Ce dispositif créé en 1983 est, pour l'essentiel, une réduction de l'impôt sur les sociétés accordée à une entreprise sur la base de ses dépenses de recherche et développement (R&D). Les modalités précises ont changé plusieurs fois au fil des ans, la dernière réforme importante datant de 2008.

Actuellement, le taux du CIR est de 30 % des dépenses de R&D de l'entreprise si celles-ci sont inférieures à 100 millions d'euros, et de 5 % au-delà. À cette disposition principale s'ajoutent des mesures plus spécifiques (remboursements immédiats pour les jeunes entreprises innovantes, barèmes doublés pour les recherches confiées à des opérateurs publics et pour le recrutement

de jeunes docteurs, etc.) et, depuis 2013, un « crédit d'impôt innovation ».

Le nombre d'entreprises sollicitant un CIR a fortement crû ces dernières années : en 2011, il était d'environ 20 000 (dont près de 15 000 bénéficiaires), le double de ce qu'il était avant la réforme de 2008. Mais c'est surtout le montant total représenté par le CIR qui a explosé : 5,17 milliards d'euros en 2011 (*voir le graphique*). Et selon un rapport de la Cour des comptes de juillet 2013, il devrait être compris entre 5,5 et 6,2 milliards en 2014, et pourrait vite atteindre les 7 milliards d'euros par an.

Pour comparaison, en 2011, le budget du CNRS était de 3,2 milliards d'euros, et la dépense publique de R&D, où le CIR n'est pas comptabilisé [car c'est une non-recette fiscale], était de 16,3 milliards d'euros. Le CIR a financé près de 20 % de la dépense intérieure de R&D des entreprises (DIRDE), qui était de 23,4 milliards d'euros.

« Cinq ou six milliards d'euros de CIR, c'est énorme ; cette aide fiscale en faveur de la recherche privée est la plus généreuse au monde », commente Rémi Barré, spécialiste des politiques d'innovation à l'IFRIS (Institut francilien recherche innovation société, un groupement d'intérêt scientifique). Il est donc légitime de s'interroger sur l'impact de cette aide fiscale sur la R&D en France. La question est complexe, car de nombreux autres paramètres économiques interviennent (niveau général de l'imposition des entreprises, aides directes accordées à tel ou tel secteur de la recherche privée,