



SCIENCE

MATHÉMATIQUES
**CINQ ÉNIGMES
POUR LA
RENTRÉE**

GÉOSCIENCES
**UN VOLCAN
AUX PORTES
DE ROME**

ZOOLOGIE
**COMMENT
TRANSFORMER UN
RENARD EN CHIEN**

SEPTEMBRE 2017
N° 479



LES UNIVERS MULTIPLÉS

**Miroir du monde
quantique ?**

GÉNÉTIQUE
**RETRACER L'HISTOIRE
DE CHAQUE CELLULE
DU CORPS HUMAIN**

Ce sont nos lecteurs qui en parlent le mieux !



Excellent livre !

L'intérêt de ce livre réside dans la mise en relation des connaissances avec les questions d'éthique sociétale actuelles. (...) L'ensemble est agréable à lire, toujours intéressant.

J'aime ce livre car il est interactif, il met la théorie en pratique à travers des exemples concrets de la vie de tous les jours, cela à chaque chapitres du livre. (...) Je le recommande vivement !

Source : Amazon

Une excellente introduction à la biologie pour les étudiants de L1-L2 et tous les passionnés !

Très didactique avec de nombreux encadrés et exemples.
Répond aux préoccupations actuelles posées par la biologie dans son environnement.
+ de 2500 illustrations de qualité.

978-2-8073-0287-7 - Édition 2017 - 864 p. - 62 €

Ce livre est une merveille. Les illustrations sont très abondantes et très claires.(...)

Je n'ai qu'un regret, c'est de ne pas l'avoir acheté plus tôt car il m'aurait bien aidé pour ma première année !

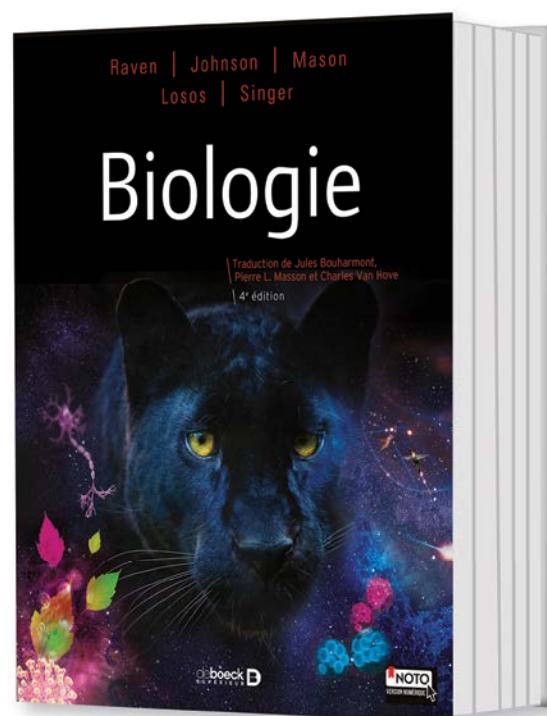
Vraiment c'est un livre à avoir dans sa bibliothèque si, comme moi, vos cours et livres de bio ont 20 ans. Jetez les et achetez ce livre.

Source : Amazon

L'ouvrage indispensable en biologie.

Une référence internationale !
Relue et adaptée par des équipes universitaires françaises et belges, elle propose une approche progressive et complète.

**500 exercices avec corrigés (QCM)
+ de 2000 photos et illustrations en couleurs.**



978-2-8073-0615-8 - Édition 2017 - 1480 p. - 75 €
Existe en version cartonnée

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

Directeur de la publicité: Jean-François Guillotin
(jf.guillotin@pourlascience.fr)

Tél. 01 55 42 84 28

ABONNEMENTS

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

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél.: 03 67 07 98 17

Adresse postale: Service des abonnements -

Pour la Science, 19 rue de l'Industrie, BP 90053,

67402 Illkirch Cedex

Tarifs d'abonnement 1 an (12 numéros)

France métropolitaine: 59 euros - Europe: 71 euros

Reste du monde: 85,25 euros

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tél. 04 88 15 12 41

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Mariette DiChristina

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par « Pour la Science », 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris. © Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ». En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier: Autriche

Taux de fibres recyclées: 30 %

«Eutrophisation» ou «Impact
sur l'eau»: P_{tot} 0,007 kg/tonne



Certifié PEFC

Ce produit est issu
de forêts gérées
durablement et de
sources
contrôlées.

10-31-1282

pefc-france.org

É DITO



**MAURICE
MASHAAL**
Rédacteur
en chef

LA PLURALITÉ QUANTIQUE DES MONDES

Le 17 février 1600, sur la place Campo de' Fiori à Rome, le philosophe et ancien frère dominicain Giordano Bruno mourait sur le bûcher. Son crime? Avoir tenu des positions insupportables pour l'Église et ses dogmes. Il s'agissait surtout d'idées touchant à la religion, mais pas seulement. Bien que les ressorts de sa pensée fussent plus théologiques et philosophiques que scientifiques, Bruno a notamment été l'un des premiers à voir dans les étoiles des objets semblables au Soleil: «Il est donc d'innombrables soleils et un nombre infini de terres tournant autour de ces soleils», écrivait-il ainsi en 1584 dans *L'Infini, l'univers et les mondes*.

Les mondes multiples pressentis par Bruno sont depuis quelques années, avec la découverte de milliers d'exoplanètes, un fait solidement établi. Mais la science va encore plus loin. L'existence d'un grand nombre, voire d'une infinité, d'univers disjoints est une idée qui gagne en popularité parmi les spécialistes du cosmos. Elle émerge naturellement des théories de l'«inflation cosmique» échafaudées pour résoudre des difficultés de la théorie classique du Big Bang.

Une autre pluralité de mondes provient de la physique quantique, théorie née au début du xx^e siècle et que rien ne démentit, mais dont les lois étranges se prêtent à diverses interprétations. Or l'une des interprétations possibles de la théorie quantique, celle de Hugh Everett, proposée en 1957, est que, à chaque fois qu'une mesure est effectuée, le monde se dédouble en autant d'exemplaires qu'il y a de résultats possibles.

Les univers multiples de la cosmologie et les mondes multiples d'Everett ont-ils un rapport? C'est la thèse audacieuse du physicien Yasunori Nomura, pour qui les deux concepts sont équivalents (*voir pages 25 à 39*). Une thèse qui ne vaudra pas à son auteur le bûcher: tout au plus cette théorie sera-t-elle sacrifiée sur l'autel de la réfutabilité, ou guillotinée par le rasoir d'Occam!

SOMMAIRE

N° 479 /
Septembre 2017

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Fémur néandertalien et histoire des humains
- Du carburant à partir de lumière et de CO₂
- Une tour de fourmis
- Goutte saturnienne
- Une autre menace sur la couche d'ozone
- Sphère réduite, mais distances inchangées
- Anticiper une éruption?
- Le cycle du Soleil enfin compris
- Phagothérapie: le rôle du système immunitaire

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

Écrans... de fumée

Gilles Dowek

P. 24

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES

Astrologie autoréalisatrice

Gérald Bronner

GRANDS FORMATS



P. 40

SCIENCES DE LA TERRE

LE VOLCAN AUX PORTES DE ROME

Fabrizio Marra

À 20 kilomètres de la «ville éternelle», une zone volcanique est au repos depuis 36 000 ans. Mais son histoire éruptive et son soulèvement actuel, d'environ deux millimètres par an, suggèrent qu'elle redevient active.



P. 56

GÉNÉTIQUE

SUIVRE LE DEVENIR DE CHAQUE CELLULE DU CORPS

Ewen Callaway

Les biologistes s'attaquent aujourd'hui à un défi titanesque: retracer la filiation de chaque cellule lors du développement d'un individu, de l'embryon à l'adulte.



P. 48

TECHNOLOGIE

VERS LA FIN DES PARKINGS

Carlo Ratti et Assaf Biderman

L'utilisation de réseaux de véhicules autonomes et de carrefours intelligents transformera en profondeur les transports et paysages urbains. Pour une meilleure qualité de vie dans les villes? Oui, mais à condition d'éviter les pièges qui guettent.



P. 64

ZOOLOGIE

COMMENT TRANSFORMER UN RENARD EN CHIEN

Lyudmila Trut et Lee Alan Dugatkin

Des renards au museau arrondi, dotés d'une queue touffue qu'ils remuent de plaisir à la vue des humains... Ces drôles de canidés affectueux sont le fruit d'une expérience originale menée depuis près de 60 ans en Sibérie pour mieux comprendre la domestication.



POUR LA
SCIENCE.FR
LETTRE D'INFORMATION

NE MANQUEZ PAS
LA PARUTION DE
VOTRE MAGAZINE
GRÂCE À LA NEWSLETTER

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



Inscrivez-vous
www.pourlascience.fr



En couverture :
© Getty Images/Science Photo Library

Ses portraits des contributeurs
sont de Seb Jarnot

Ce numéro comporte un encart
d'abonnement *Pour la Science* broché
sur une partie du tirage.

Ce numéro comporte également
un encart *Rue des Etudiants*
sur une sélection d'abonnés France
Métropolitaine.



P.72

HISTOIRE DES SCIENCES

LES MALHEURS DE L'HERBIER LABILLARDIÈRE

Bertrand Daugeron

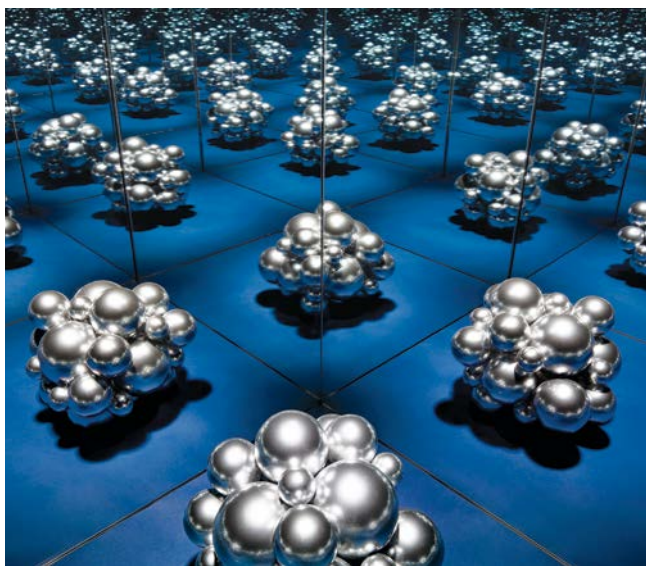
Qui aurait imaginé que la chute de Louis XVI bouleverserait aussi le destin des planches d'un herbier à l'autre bout du monde? C'est pourtant le constat que fit le botaniste Jacques Labillardière à ses dépens, lors d'une escale à Java en octobre 1793...

À LA
UNE

P.25

PHYSIQUE THÉORIQUE

LES UNIVERS MULTIPLES MIROIR DU MONDE QUANTIQUE?



P.26

LE MULTIVERS QUANTIQUE

Yasunori Nomura

La cosmologie laisse penser que notre univers n'en serait qu'un parmi d'innombrables autres. Et si cette multiplicité d'univers coïncidait avec l'idée des mondes multiples avancée il y a 60 ans pour comprendre la physique quantique?

P.36

« L'INFLATION COSMOLOGIQUE RESTE LE SCÉNARIO LE PLUS SATISFAISANT »

Entretien avec Sébastien Renaux-Petel

Ingrédient essentiel de la théorie moderne du Big Bang et des spéculations sur les univers multiples, l'inflation cosmique est une idée qui agite encore beaucoup les théoriciens. Pourquoi?

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

CINQ ÉNIGMES POUR LA RENTRÉE

Jean-Paul Delahaye

Un bon problème mathématique doit avoir une solution qui ne vient pas toute seule. En voici cinq exemples...

P.86

ART & SCIENCE

Le bug des cygnes

Loïc Mangin

P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

Les tubes hurleurs

*Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik*

P.92

**CHRONIQUES
DE L'ÉVOLUTION**

La frontière invisible de l'archipel malais

Hervé le Guyader



P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Spaghettis de protéines

Hervé This

P.98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

P.20 Agenda

P.22 *Homo sapiens informaticus*

P.24 Cabinet de curiosités
sociologiques

PALÉOANTHROPOLOGIE

LE FÉMUR QUI PRÉCISE L'ÉVOLUTION DES NÉANDERTALIENS



Le fossile HST est une diaphyse de fémur découverte en 1937, qui contenait encore de l'ADN néandertalien.

L'ADN mitochondrial contenu dans un fémur néandertalien invite à réécrire l'histoire de la colonisation de l'Eurasie et du métissage entre Néandertaliens et hommes modernes.

L'équipe de Cosimo Posth, de l'institut Max-Planck pour l'histoire humaine de Tübingen, a séquencé le génome mitochondrial d'un fémur néandertalien nommé HST parce qu'il a été découvert en 1937 dans la grotte de Hohenstein-Stadel dans le pays souabe. Le résultat l'amène à proposer un cadre chronologique au scénario de la constitution de la population néandertalienne et de son métissage avec *Homo sapiens*.

Les mitochondries sont les organites produisant l'énergie de nos cellules. Elles ont un génome transmis uniquement par

la mère, de sorte qu'elles servent à retracer les lignées féminines et à dater leurs divergences. Les mutations s'accumulent en effet dans l'ADNmt (l'ADN mitochondrial) avec un taux prévisible, ce qui permet d'estimer la durée écoulée depuis l'ancêtre commun de deux individus.

C'est en appliquant une méthode comparable que les auteurs de précédentes recherches ont établi à partir des mutations accumulées dans le chromosome Y (le chromosome sexuel masculin) et d'autres parties du génome nucléaire (le génome contenu dans le noyau cellulaire) que la divergence

neanderthalensis-sapiens s'est produite il y a entre 765 000 et 550 000 ans.

Toutefois, lorsqu'on fait le même exercice à partir de l'ADNmt, on aboutit à une divergence *neanderthalensis-sapiens* il y a 400 000 ans environ (au plus 470 000 ans). On constate en outre que l'ADNmt des Néandertaliens est plus proche de celui des hommes modernes qu'il ne l'est de celui d'un membre de leur population ancestrale. Sorte de miracle scientifique, en 2013, le génome mitochondrial de cet individu découvert dans une grotte en Espagne et mort il y a 450 000 ans avait pu être séquencé. Après beaucoup de débats, des paléogénéticiens ont proposé, pour expliquer cette incohérence, qu'un groupe humain plus proche génétiquement des *Homo sapiens* que des Néandertaliens a introduit son ADNmt en Europe.

Le fossile HST aide-t-il à préciser ce scénario considéré comme le plus économe? L'équipe de Cosimo Posth s'est mise à le penser lorsqu'elle a découvert que son ADNmt est très différent de celui des autres Néandertaliens. Mais pour interpréter cette information, il fallait connaître son âge. Comme les méthodes physiques de datation sont inapplicables dans le cas de HST, l'équipe de Cosimo Posth a compté les mutations accumulées dans son ADNmt et dans celui d'une dizaine de Néandertaliens d'origines différentes. Résultat: l'ADNmt de HST aurait 124 000 ans, soit à peine moins que le plus ancien des génomes mitochondriaux de l'échantillon analysés, celui d'un Néandertalien de l'Altai en Sibérie, vieux de 130 000 ans. Ainsi, il y a plus de 100 000 ans, au moins deux lignées mitochondriales néandertaliennes différentes coexistaient en Eurasie; cela suggère que la diversité et donc la taille de la population néandertalienne étaient alors plus grandes, et qu'elles se sont réduites ensuite.

Par ailleurs, les calculs génétiques des chercheurs ont montré que la divergence entre les ADNmt de HST et de tous les autres Néandertaliens doit être antérieure à 220 000 ans. Ainsi, l'ADNmt de HST installe le scénario de l'introduction, dans la population néandertalienne, d'ADNmt différent de celui d'origine et proche de celui d'*H. sapiens* dans un cadre chronologique. Dans l'esprit des chercheurs, après la divergence mitochondriale *neanderthalensis-sapiens* (datée à un maximum de 470 000 ans), mais avant la séparation entre les génomes mitochondriaux de HST et des autres Néandertaliens, un groupe humain est passé d'Afrique en Europe, où son ADNmt s'est imposé dans la population néandertalienne. Passée inaperçue jusque-là, cette migration a dû donc se produire entre 470 000 et 220 000 ans. Le flux génique correspondant aurait été assez faible pour peu influencer l'ADN nucléaire des Néandertaliens, mais assez important pour provoquer le remplacement complet de leurs lignées mitochondriales, notamment celle de HST.

L'extraction d'ADN nucléaire de HST nous en apprendrait plus. Étant donné son âge et sa probable contamination par tous ceux qui ont manipulé le fossile depuis 80 ans, cela promet d'être difficile... ■

FRANÇOIS SAVATIER

C. Posth et al., *Nature*, en ligne le 4 juillet 2017

Vers une production de carburant solaire carboné

En cette période de réflexions sur la transition énergétique, l'équipe de Marc Robert et Julien Bonin, de l'université Paris-Diderot et du CNRS, a développé un nouveau procédé qui transforme le dioxyde de carbone (CO_2) en méthane (CH_4), sous l'action de la lumière solaire et d'un catalyseur à base de fer. Marc Robert nous détaille le fonctionnement de cette photosynthèse artificielle.



Propos recueillis par CLÉMENT DUFRENNE

MARC ROBERT
professeur à l'université
Paris-Diderot

Quel est le principe de votre procédé ?

Marc Robert : Notre procédé consiste à remplacer les atomes d'oxygène du dioxyde de carbone par des atomes d'hydrogène. Pour réaliser cette hydrogénation complète du dioxyde de carbone, nous ajoutons de petites quantités d'alcool ou d'eau afin d'apporter les protons (H^+) nécessaires. Cette source de protons aide les atomes d'oxygène à quitter la molécule de dioxyde de carbone, et permet aussi de « protoner » le carbone pour aboutir au méthane. Afin de déclencher la réaction, il est essentiel d'avoir une source d'énergie. Dans notre cas, nous utilisons le rayonnement solaire, et plus précisément le domaine visible du spectre, produit en laboratoire grâce à un simulateur solaire et un filtre qui sélectionne des longueurs d'onde supérieures à 400 nanomètres. Pour rendre la réaction possible, il faut enfin un catalyseur qui accélère les étapes du processus. Le nôtre est à base de fer.

Quelle est l'originalité de votre procédé par rapport aux recherches précédentes ?

M. R. : D'une part, nous proposons ici une piste pour fabriquer un carburant solaire à partir d'une source de carbone habituellement considérée comme un déchet, le CO_2 . D'autre part, notre procédé fonctionne dans des conditions très douces, à température et pression ambiantes. Le produit obtenu, le méthane, est directement utilisable dans des applications de transport ou de chauffage (il constitue par exemple 75 % du gaz de ville). Le CO_2 peut ainsi rentrer dans un cycle vertueux, une économie circulaire : il est transformé en carburant, puis, au cours de la combustion, celui-ci libère du CO_2 qui peut-être à nouveau transformé

en méthane, etc. Par ailleurs, nous utilisons un catalyseur à base de fer qui est de loin le métal le plus abondant, et donc le moins cher. Habituellement, en catalyse, ce sont des métaux rares, et donc chers, qui sont employés. De plus, la synthèse du catalyseur est bien maîtrisée et simple, ce qui fait que son coût reste modeste à l'échelle globale du système. Enfin, le fer n'est pas toxique et est biocompatible. Avec ce catalyseur, nous avons prouvé qu'il est possible de créer un carburant solaire dans des conditions simples.

Est-ce la première fois que l'on utilise un catalyseur à base de fer ?

M. R. : Non, mais jusqu'à présent, les catalyseurs testés n'avaient pas permis d'aller au-delà du monoxyde de carbone, un intermédiaire de la réaction, et d'obtenir du méthane. Dans ce nouveau procédé, le catalyseur de fer synthétisé a une structure et des propriétés chimiques inspirées de la famille des porphyrines, des molécules qui transportent le dioxygène dans le sang. C'est cette structure moléculaire qui a fait la différence.

Actuellement, le rendement est de 0,18 %. Comment envisagez-vous de l'améliorer ?

M. R. : Ce chiffre est le rendement total, obtenu en rapportant la quantité finale de produits, le méthane, à la quantité initiale de photons de lumière absorbés par le système. Certes, il est faible, mais le système présente déjà beaucoup d'avantages : la lumière est gratuite, disponible partout, inépuisable... Pour aller vers des applications concrètes, nous devons avant toute chose mieux comprendre l'ensemble du processus catalytique et des différentes étapes mises en jeu, ce qui nous donnera les outils pour améliorer le rendement et passer à une échelle supérieure. ■

H. Rao et al., *Nature*, en ligne, 17 juillet 2017