

# POUR LA SCIENCE

www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06  
01 55 42 84 00

## Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions : Cécile Lestienne

## Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal  
Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier  
Rédacteurs : François Savatier, Philippe Ribeau-Gésippe,  
Sean Bailly

## Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin  
Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe  
Directrice artistique : Céline Lapert  
Maquette : Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy  
Correction et assistance administrative : Anne-Rozenn Jouble  
Marketing & diffusion : Laurence Hay et Ophélie Maillet  
Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet  
Fabrication : Marianne Sigogne et Olivier Lacam  
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 :  
David Aubin, Yves Bertheau, Frédéric Flin, Sophie Gallé-Soas,  
Capucine Jahan, François Lè, Frédéric Libersat, Laurent Misery,  
Aurélien Perrin, Christophe Pichon, Anthony Sladen,  
Daniel Tacquenet

## PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie  
susan.mackie@pourlascience.fr - 01 55 42 85 05

## PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin  
(jf.guillotin@pourlascience.fr)  
Tél. : 01 55 42 84 28 • Fax : 01 43 25 18 29

## ABONNEMENTS

Abonnement en ligne : <http://boutique.pourlascience.fr>  
Courriel : [pourlascience@abopress.fr](mailto:pourlascience@abopress.fr)  
Téléphone : 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

## COMMANDES DE LIVRES OU DE MAGAZINES

Pour la Science,  
628 avenue du grain d'or, 41350 Vineuil  
[pourlasciencevpc@daud.in](mailto:pourlasciencevpc@daud.in) • Tél. : 02 18 54 12 64

## DIFFUSION

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet  
Tel : 04 88 15 12 41  
Information/modification de service/réassort :  
[www.direct-editeurs.fr](http://www.direct-editeurs.fr)

## SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief : Mariette DiChristina.  
Executive editor: Fred Guterl. Design director: Michael Mrak. Editors:  
Ricky Rusting, Philip Yam, Robin Lloyd, Mark Fischetti, Seth Fletcher,  
Christine Gorman, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong.  
President : Keith McAllister. 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-  
cense accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».  
En application de la loi du 11 mars 1957, il est in-  
terdit 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

## Deux, trois, quatre, cinq...

**D**epuis le milieu du siècle dernier, le monde des par-  
ticules subatomiques s'est révélé foisonnant. Aux  
constituants des atomes – l'électron, le proton et  
le neutron – se sont ajoutées une ribambelle de  
particules presque toutes instables, donc éphémères.

Dans ce fatras, le modèle des quarks proposé en 1964 a mis  
de l'ordre : les hadrons – les membres de la prolifique famille des  
particules sensibles à l'interaction forte – sont composés soit de  
trois quarks, à l'instar du proton et du neutron, soit d'un quark et d'un  
antiquark. Le modèle des quarks s'est même mué en une théorie  
fondamentale de l'interaction forte, la chromodynamique quantique,  
qui est aujourd'hui l'un des piliers de la physique des particules.

Les quarks peuvent-ils former plus que des duos ou des trios ?  
La théorie ne l'interdit pas ; elle le prédit même. Mais ce n'est qu'à  
partir de 2003, avec l'augmentation de l'énergie des collisions dans  
les accélérateurs de particules, que de possibles tétraquarks – des  
systèmes de quatre quarks – ont commencé à poindre dans les  
détecteurs.

## De nouvelles naissances dans la grande famille des hadrons

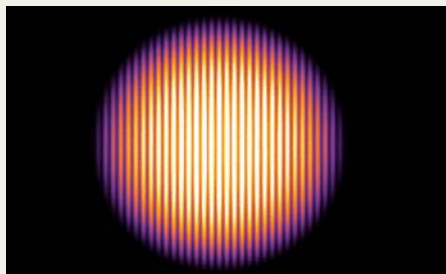
Ces recherches ont atteint une maturité ces dernières années,  
en particulier grâce à la mise en service du collisionneur LHC, au  
Cern. Avec des résultats réjouissants : comme le relatent Georg  
Wolschin et Renaud le Gac (*voir pages 20 à 28*), plusieurs tétra-  
quarks et pentaquarks ont été mis en évidence au LHC depuis 2015.

Ces découvertes ont fait moins de bruit que celle du boson de  
Higgs, en 2012, mais elles sont presque aussi importantes. Elles  
ne font pas qu'agrandir le zoo des particules ; elles confirment  
la théorie de l'interaction forte, où les calculs sont notoirement  
difficiles, et suggèrent même des pistes pour l'approfondir. La  
physique des particules est encore pleine d'avenir. ■

3 **Édito**

## Actualités

6 **Un supersolide créé pour la première fois en laboratoire**



7 **Un intestin humain fonctionnel reconstitué**

8 **Comment le cannabis perturbe la mémoire**

11 **SOLEIL fait la lumière sur la cire perdue**

12 **Des noyaux atomiques qui font des bulles**

Retrouvez plus d'actualités sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

## Réflexions & débats

14 **Point de vue**  
**Recherche : la France n'investit plus assez pour garder son rang**

*Alain Fuchs*

16 **Cabinet de curiosités sociologiques**  
**J'en étais sûr !**

*Gérald Bronner*

18 **Homo sapiens informaticus**  
**Les ordinateurs, rois de la mise en abyme**

*Gilles Dowek*



Ce numéro comporte une offre de parrainage *Pour la Science* sur une sélection d'abonnés de France métropolitaine.  
En couverture : © Pour la Science

## À LA UNE

20

**PHYSIQUE DES PARTICULES**

### Des quarks aux pentaquarks

*Georg Wolschin*

Constituants fondamentaux de la matière, les quarks s'assemblent en duos ou en trios pour former les protons, les neutrons et d'autres particules instables. Or les collisions à haute énergie du LHC, au Cern, ont récemment produit des assemblages de quatre ou cinq quarks : des particules jusque-là inconnues !

30

**NEUROBIOLOGIE**

### Ces démangeaisons qui nous rendent fous

*Stephani Sutherland*

Piqûre d'insecte, eczéma, urticaire, allergie... : les démangeaisons associées peuvent nous amener à nous gratter jusqu'au sang. Les mécanismes physiologiques en jeu se dévoilent et révèlent des liens avec ceux de la douleur.

38

**PLANÉTOLOGIE**

### Sous l'océan d'Encelade

*Frank Postberg, Gabriel Tobie et Thorsten Dambeck*

On en est de plus en plus certain : le fond de l'océan souterrain d'Encelade, lune glacée de Saturne, est criblé de cheminées hydrothermales actives. Ce qui en fait l'un des lieux les plus prometteurs pour rechercher des formes de vie extraterrestre.



## 48 ÉTHOLOGIE

### La guêpe émeraude et sa blatte-zombie

Christie Wilcox

En injectant son venin, une petite et chatoyante guêpe met à sa merci une blatte et fait de celle-ci un repas vivant pour sa progéniture. Un très bel exemple de manipulation neurologique d'une espèce par une autre.



## 54 PALÉONTOLOGIE

### Les géants du ciel

Daniel Ksepka et Michael Habib

Les *Pelagornis* ont survolé les mers pendant plus de cinquante millions d'années. Avec leur envergure de plus de 6 mètres, comment faisaient ces oiseaux pour décoller ?

## 62 BIOLOGIE

### Une boussole dans les cellules

Paul Adler et Jeremy Nathans

Si les cellules s'alignent si bien dans les tissus de l'organisme, c'est grâce à un petit groupe de gènes qui les informent sur l'orientation de leurs voisins.

## 70 HISTOIRE DES SCIENCES

### Pourquoi les nazis n'ont pas eu la bombe

Manfred Popp

Hitler n'a pas eu la bombe. Par manque de moyens, disent certains historiens; parce que ses physiciens l'ont sciemment évitée, selon d'autres. L'examen des textes et des actes des chercheurs avec un œil de physicien nucléaire suggère que la vérité, bien plus subtile, est intermédiaire.

## Rendez-vous

### 78 Logique & calcul

#### Vers du calcul sans coût énergétique

Jean-Paul Delahaye

Les petits calculs nécessitent un minimum d'énergie. Mais la maîtrise du calcul réversible pourrait rendre caduc cet obstacle.

### 84 Science & fiction

#### Un sommeil de glace

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

### 86 Art & science

#### Les données, objets d'art

Loïc Mangin

### 89 Idées de physique

#### Le doigt, un capteur universel

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



### 92 Question aux experts

#### Pourquoi le ciel nocturne est-il noir et non pas brillant ?

Karen Kwitter

### 94 Science & gastronomie

#### Imperméabilité au gras

Hervé This

### 96 À lire

### 98 Bloc-notes

#### Les chroniques de Didier Nordon

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



Recevez gratuitement la lettre d'information  
en inscrivant uniquement votre adresse mail  
sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)