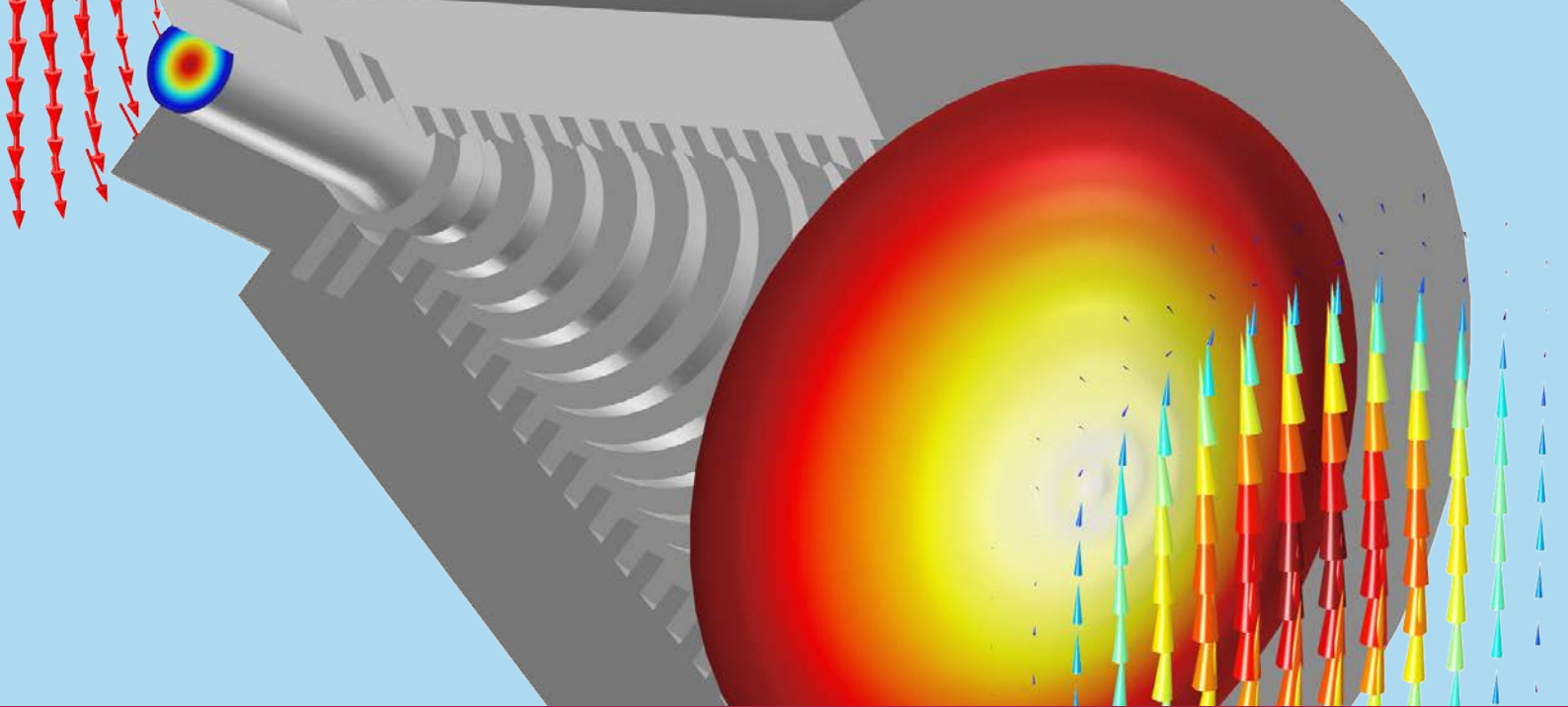




LA MULTIPHYSIQUE POUR TOUS

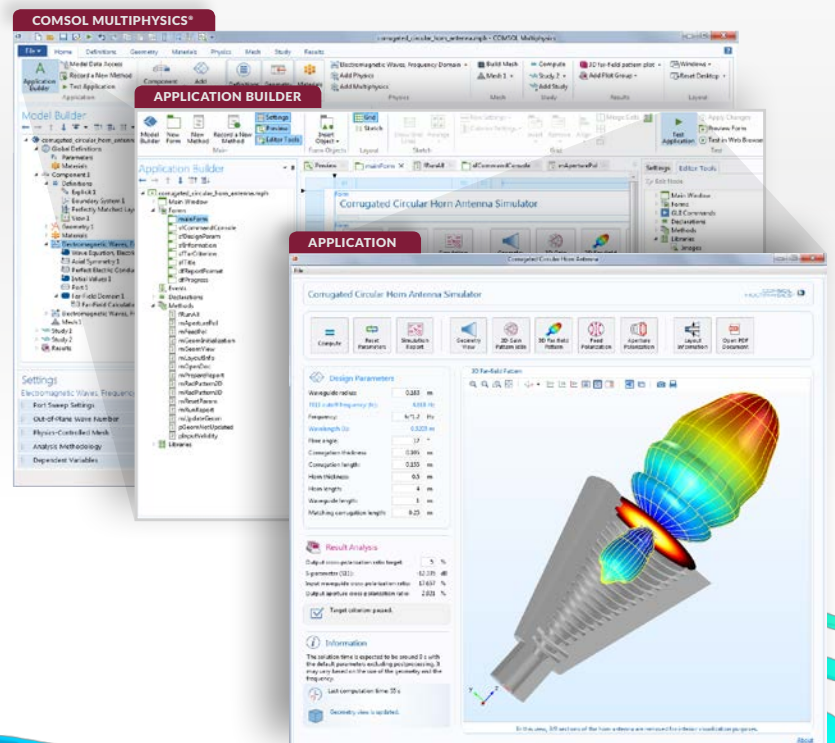
L'évolution des outils de simulation numérique vient de franchir un cap majeur.

Des applis spécialisées sont désormais développées par les spécialistes en simulation avec l'application Builder de COMSOL Multiphysics®.

Une installation locale de COMSOL Server™, permet de diffuser les applis dans votre organisme et dans le monde entier.

Faites bénéficier à plein votre organisme de la puissance de l'outil numérique.

comsol.fr/application-builder



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 Tacquenot

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

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@daudin.fr • 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

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-

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 copie

(20 rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).



Maurice Mashaal
rédacteur en chef

Deux, trois, quatre, cinq...

Depuis le milieu du siècle dernier, le monde des particules 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

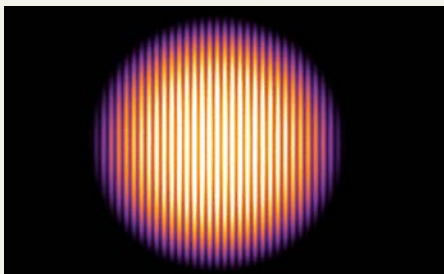
Ces recherches ont atteint une maturité ces dernières années, en particulier grâce à la mise en service du collisionneur LHC, au Cern. Avec des résultats réjouissants : comme le relatent Georg Wolschin et Renaud le Gac (voir pages 20 à 28), plusieurs tétraquarks et pentaquarks ont été mis en évidence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

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.

