

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, Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gésippe

Directrice artistique : Céline Lapert

Maquette : Pauline Bilbault, Ingrid Leroy,

Nathalie Ravier (stagiaire)

Correction et assistance administrative : Maud Bruguère

Marketing : Élise Abib et Ophélie Maillet,

assistées de Héloïse Clément (stagiaire)

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 :

Aurélien Crida, Gérard Eberl, Vincent Enouf, Sophie Gallé-Soas,

Nicolas Georgieff, Évelyne Host-Platret, Jean Le Loeuff,

Christophe Pichon, Loïc Villain, Jean-Baptiste Yon

PUBLICITÉ France

Directeur de la publicité : Jean-François Guillotin

[j.f.guillotin@pourlascience.fr]

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

SERVICE ABONNEMENTS

Nada Mellouk-Raja. Tél. : 01 55 42 84 04

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

Courriel : 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 :

Magazine disponible sur 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-Dies - 1130 Bruxelles.

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

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

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 partiel-

lement 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

Le couteau suisse de la génétique

Un nouveau sigle qui semble imprononçable envahit depuis quelque temps le monde de la biologie moléculaire et de la génétique : CRISPR-Cas9. Imprononçable ? On peut dire en français « crispère-casse-neuf ». Ce problème de lecture étant réglé, de quoi s'agit-il ? D'une technique développée grâce à la découverte, en 2007, d'un système de défense des bactéries contre les virus, reposant sur une séquence particulière de leur ADN nommée CRISPR. En 2012, l'équipe de la microbiologiste française Emmanuelle Charpentier et, à Berkeley, celle de Jennifer Doudna se sont inspirées de ce système et ont montré que l'enzyme bactérienne Cas9 permet de couper aisément, avec précision et à l'endroit souhaité, l'ADN de n'importe quelle cellule.

CRISPR-Cas9 : une technique qui, comme d'autres, peut être utilisée à mauvais escient.

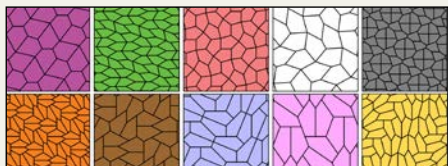
Ainsi, comme Emmanuelle Charpentier et le journaliste Pierre Kaldy nous l'expliquent (voir pages 24 à 32), les chercheurs disposent depuis d'un outil puissant et universel grâce auquel ils peuvent modifier à volonté l'ADN, donc les gènes, d'un organisme, et cela en des temps records – quelques semaines là où, avec les méthodes précédentes, plus complexes et moins fiables, il fallait des mois ou plus.

L'enjeu est d'abord scientifique : CRISPR-Cas9, par sa polyvalence et sa facilité, va considérablement accélérer le progrès des connaissances en biologie et en génétique. La technique ouvre aussi de vastes horizons en médecine, en agriculture, en chimie... Mais elle peut être utilisée à mauvais escient (armes biologiques, modifications inconsidérées du vivant, eugénisme, etc.), ce qui appelle, à tout le moins, à des réflexions et débats éthiques (voir pages 34-35). C'est la sempiternelle dualité inhérente à toute innovation technique. ■

3 **Édito**

Actualités

- 6 Pourquoi ne devenons-nous pas tous dépendants ?
- 7 Des bactéries contre le diabète de type 1
- 8 Un nouveau pentagone pave le plan



- 9 La plus ancienne des plantes à fleurs
- 12 Une piste pour freiner les maladies neurodégénératives

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 14 **Point de vue**
La compensation écologique, un dispositif encore mal appliqué
Céline Jacob et Fabien Quétier
- 16 **Entretien**
Sciences économiques : « Il faut passer à des modèles de troisième génération »
Jean-Philippe Bouchaud
- 20 **Homo sapiens informaticus**
La technique, sans les mains
Gilles Dowek
- 22 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Une rentrée apocalyptique ?
Gérald Bronner

- 51 **Cahier spécial**
CEA, 70 ans de recherche et d'innovation
En partenariat avec



Ce numéro comporte un encart d'abonnement *Pour la Science*, jeté en cahier intérieur de toute la diffusion kiosque et posé sur toute la diffusion abonné. 16 500 encarts *Rue des étudiants* sont également posés en 4^{ème} de couverture de la diffusion abonnés France métropolitaine.
En couverture : © Brothers Good/shutterstock.com ; Pour la Science

À LA UNE

24 GÉNÉTIQUE CRISPR-Cas9, l'outil qui révolutionne la génétique

Emmanuelle Charpentier et Pierre Kaldy

Un système de défense immunitaire bactérien, CRISPR-Cas9, est devenu un outil précis, simple et universel pour modifier les gènes de n'importe quelle cellule à volonté. Un frein majeur de la génétique est levé.

34 « Une réflexion éthique s'impose »

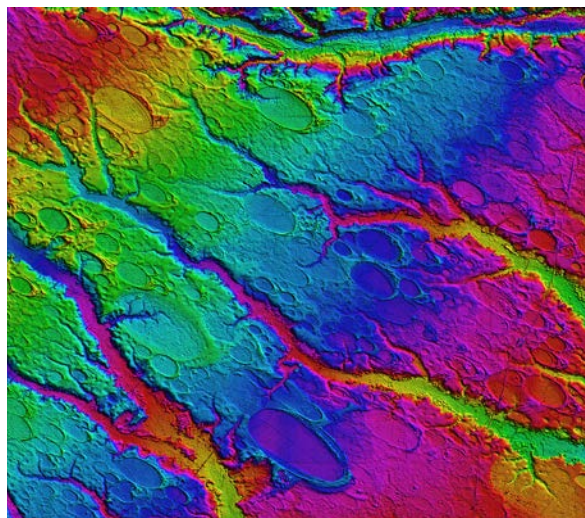
Entretien avec Pierre Gaudray

Depuis sa mise au point en 2012, l'outil de génétique CRISPR-Cas9 se répand à une telle vitesse et dans des domaines si variés qu'il soulève de nombreuses inquiétudes.

36 GÉOSCIENCES De l'hydrogène naturel sous nos pieds

Alain Prinzhofer et Éric Deville

Les géologues ont découvert en plusieurs sites continentaux de par le monde des émissions d'hydrogène en quantités importantes. Une prochaine révolution énergétique se profile-t-elle ?



44 **NEUROSCIENCES** **L'étonnante plasticité du cerveau adolescent**

Jay Giedd

À l'adolescence, le cerveau humain se reconfigure très vite. Ces transformations sont une source de risques, mais aussi d'avancées fulgurantes en matière de cognition et d'adaptabilité.

76 **PALÉONTOLOGIE** **L'ascension des tyrannosaures**

Stephen Brusatte

De nouveaux fossiles révèlent que les tyrannosaures sont passés, en 100 millions d'années, d'un groupe d'animaux de petite taille à la famille de prédateurs géants qui a dominé la fin du Crétacé.



84 **ASTROPHYSIQUE** **L'horizon des trous noirs brûle-t-il ?**

Pour concilier la relativité générale et la physique quantique des trous noirs, certains physiciens ont conclu que l'horizon des événements entourant un tel astre est un « mur de feu » rempli de particules de haute énergie.

Joseph Polchinski

94 **HISTOIRE DES SCIENCES** **Le daguerréotype qui mesurait la lumière**

Jérôme Fatet

Au XIX^e siècle, un jeune physicien, Edmond Becquerel, détourne le tout nouveau procédé photographique de Louis Daguerre en un appareil pour analyser la lumière. Il prouve ainsi l'existence des ultraviolets.

Rendez-vous

102 **Logique & calcul**

Déléguer un calcul sans divulguer ses données

Jean-Paul Delahaye

Vous confiez des calculs à un tiers, il les effectue et vous transmet les résultats, mais sans avoir pu connaître ni les données du calcul ni ses résultats : un miracle cryptographique !

108 **Science & fiction**

La Force des Jedi, une question de puissance

Roland Lehoucq et J. Sébastien Steyer

110 **Art & science**

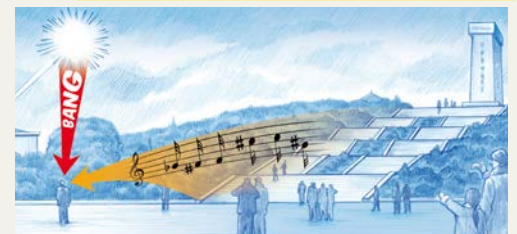
Le mystère de la pastèque blanche

Loïc Mangin

113 **Idées de physique**

L'escalier chantant de Maoshan

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



116 **Question aux experts**

Peut-on contrôler ses rêves ?

Daniel Erlacher

118 **Science & gastronomie**

Dater du vin sans ouvrir la bouteille

Hervé This

120 **À lire**

122 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

Toutes les archives

- Pour la Science
- Dossier Pour la Science

depuis
1996



Disponibles sur www.pourlascience.fr*

* Numéros à lire en ligne ou à télécharger au format PDF