

■ POUR LA

SCIENCE

Février 2017 - n° 472

www.pourlascience.fr

Édition française de Scientific American

Désinformation et réseaux sociaux

Ce que révèlent les statistiques

CANCER

LES NOUVELLES PISTES DE L'IMMUNOTHÉRAPIE



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 :

Frédéric Amblard, Eric Buffetaut, Claudine Cohen,

Hélène Courtois, René Cuillier, Serge Gauthier, Hélène Gélot,

Céline Genevrey, Nicolas Gillet, Evelyne Host-Platret,

Alice Mastracci, Salah El Mestikawy, Lydie Morel, Patrice Pérez,

Christophe Pichon, Carlo Rizzo, 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

(j.f.guillotin@abopress.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

<http://boutique.pourlascience.fr/>

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. Licence 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

Internet, tour de Babel du XXI^e siècle ?

On trouve tout et n'importe quoi sur Internet. Ce n'est pas un scoop. Ce qui est plus nouveau, c'est la prise de conscience que le n'importe quoi tend à occuper une place démesurée sur la Toile et les « réseaux sociaux » tels que Facebook. Au point d'influencer l'opinion publique et de peser sur des choix cruciaux, comme l'élection présidentielle aux États-Unis ou le vote sur le Brexit.

La diffusion massive sur Internet de fausses informations et de théories conspirationnistes a attiré l'attention de nombreux sociologues et analystes de la vie publique. Les médias s'en sont fait l'écho. On connaît moins les travaux que des informaticiens, des physiciens et des mathématiciens ont consacrés à la désinformation en ligne. Pour la Science présente dans ce numéro ceux de l'équipe de Walter Quattrociocchi, en Italie, qui a passé à la moulinette de ses algorithmes une grande masse de données provenant de Facebook, et a obtenu ainsi des renseignements inédits et quantitatifs sur la propagation des théories du complot et sur le comportement de ceux qui les diffusent (voir l'article pages 20 à 29).

Un cybercommunautarisme inquiétant, favorisé par nos biais cognitifs

Ces analyses montrent notamment, chiffres à l'appui, que les internautes tendent à former sur les réseaux sociaux des communautés isolées les unes des autres, qui s'autoconfortent dans leurs opinions et leurs préjugés – un cybercommunautarisme inquiétant. Plus généralement, comme le souligne le sociologue Gérald Bronner (voir l'entretien pages 30 à 32), les libertés offertes par Internet, conjuguées avec nos biais cognitifs, ont produit un marché de l'information dérégulé, propice à la désinformation. Y remédier sans censurer est certainement l'un des plus grands défis que doivent aujourd'hui relever les sociétés démocratiques. ■

3 Édito

Actualités

- 6 Différenciation cellulaire : la part du hasard
- 7 Un étalon quantique pour l'ampère
- 8 La calotte groenlandaise, plus instable qu'on ne le pensait



- 11 Au cœur des secrets de Pluton
- 12 Un antidote au monoxyde de carbone ?

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 14 **Entretien**
« Si l'on ne réduit pas la pauvreté, il n'y aura pas d'avenir pour la vie sauvage »
Richard Leakey
- 18 **Homo sapiens informaticus**
Jusqu'où ira la révolution « blockchains » ?
Gilles Dowek



- 19 **Cabinet de curiosités sociologiques**
Les années 1960 et le crépuscule de l'idée de progrès
Gérald Bronner

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

À LA UNE

20 SCIENCES SOCIALES **Désinformation sur les réseaux sociaux : ce que révèlent les statistiques**

Walter Quattrociocchi

Les internautes diffusent massivement des informations fausses et des théories conspirationnistes farfelues. Des études statistiques portant sur les réseaux de Facebook apportent un éclairage quantitatif et inédit sur les mécanismes à l'œuvre dans cet inquiétant phénomène.

30 « Il faut réguler le marché de l'information sur Internet »

Entretien avec Gérald Bronner

Internet bouleverse la façon dont les gens s'informent et fournit une tribune commode à tout individu ou groupe qui souhaite s'exprimer. Mais ces libertés nouvelles s'accompagnent d'effets pervers tels que la diffusion massive de thèses conspirationnistes. Le sociologue Gérald Bronner commente cette situation.

34 MÉDECINE **Cancer : lever les freins du système immunitaire**

Jedd Wolchok

Dans de nombreux cancers, les cellules tumorales verrouillent le système immunitaire. Des oncologues développent une nouvelle génération de traitements qui visent à le débloquent.

42 MÉDECINE **« L'immunothérapie est une arme puissante à double tranchant »**

Entretien avec Emanuela Romano

Depuis une dizaine d'années, l'immunothérapie contre le cancer est en plein développement. L'idée est d'aider le système immunitaire à cibler les cellules tumorales, tout en évitant qu'il se retourne contre le patient.

44 CLIMATOLOGIE

El Niño n'explique pas tout

Emily Becker

On accuse souvent El Niño, phénomène climatique capricieux et influent, d'être responsable d'événements météorologiques extrêmes. L'épisode le plus récent montre pourtant que d'autres phénomènes jouent aussi un rôle.



54 NEUROBIOLOGIE

Les bienfaits des toxines végétales sur le cerveau

Mark Mattson

En provoquant un stress au sein de nos neurones, les toxines issues des plantes que nous consommons préparent notre cerveau à se défendre contre des agressions plus importantes.

60 COSMOLOGIE

Où sommes-nous dans l'Univers ?

Noam Libeskind et Brent Tully

La Voie lactée fait partie d'un énorme superamas de galaxies qui constitue l'une des plus grandes structures connues de l'Univers. Cette découverte découle d'un effort de cartographie cosmique qui ne fait que commencer.

70 HISTOIRE DES SCIENCES

Le retour de la forêt salvatrice

G. Decocq, B. Kalaora et C. Vlassopoulos

Au XIX^e siècle, deux lois reposant sur un discours environnemental catastrophiste ont permis à l'État d'asseoir son autorité sur les espaces ruraux... en promouvant le reboisement.

Rendez-vous

78 Logique & calcul

Je le vois, je le démontre, mais est-ce que je le comprends ?

Jean-Paul Delahaye

Les mathématiques recèlent d'innombrables vérités à la fois assez simples et très inattendues.

84 Science & fiction

Les crocodiliens, divinités ou acteurs de séries B

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 Art & science

Pleurer sans fondre en larmes

Loïc Mangin

89 Idées de physique

Bois sec, bois humide

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



92 Question aux experts

L'inversion du champ terrestre sera-t-elle une catastrophe ?

Henri-Claude Nataf

94 Science & gastronomie

Une théorie de quenelles

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

Actualités

Biologie

Différenciation cellulaire : la part du hasard

Au cours de la différenciation de cellules en un tissu, l'expression des gènes est d'abord de plus en plus hétérogène d'une cellule à l'autre, puis s'uniformise.



Par quel mécanisme une cellule se différencie-t-elle en un type cellulaire plutôt qu'un autre ? Si les biologistes ont longtemps vu cette transformation comme le fruit d'un programme génétique où une succession de régulateurs s'activeraient dans un ordre établi, ils savent aujourd'hui que les choses ne sont pas aussi simples. Depuis quelques décennies, des travaux suggèrent que l'expression des gènes est, non pas une chaîne bien huilée d'événements, mais un phénomène aléatoire. En ce qui concerne la différenciation cellulaire, cela reformule la question de la façon suivante : comment une expression aléatoire des gènes conduit-elle à des tissus homogènes de cellules différenciées ? Une équipe de biologistes, mathématiciens et bio-informaticiens codirigée par

Sandrine Gonin-Giraud et Olivier Gandrillon, du Laboratoire de biologie et modélisation de la cellule (CNRS, Inserm, université de Lyon, université Claude-Bernard), à l'École normale supérieure de Lyon, vient d'apporter des éléments de réponse en étudiant la variabilité de l'expression des gènes d'une cellule à l'autre au cours de leur différenciation.

Depuis quelques années, il est possible d'analyser l'expression des gènes dans des cellules individuelles, ce qui permet d'étudier leur diversité de façon qualitative et quantitative. Plusieurs études ont ainsi révélé un phénomène qui n'apparaissait pas lorsqu'on n'étudiait l'expression des gènes qu'à l'échelle d'une population de cellules : lors de la différenciation cellulaire de cellules souches embryonnaires, ou lorsque l'on

reprogramme des cellules en cellules souches, on observe, d'une cellule à l'autre, une hétérogénéité dans l'expression de certains gènes, qui suggère que cette variabilité joue un rôle dans la différenciation.

L'idée n'est pas nouvelle. Dès 1983, Jean-Jacques Kupiec, alors dans une unité Inserm à l'hôpital Saint-Louis, à Paris, a proposé un modèle probabiliste de différenciation cellulaire où il prédisait que celle-ci se produit en deux temps : d'abord, au gré de l'expression aléatoire des gènes, différents types cellulaires émergent, mais sont susceptibles de changer à chaque réplication. Puis, les interactions avec l'environnement proche favoriseraient un type cellulaire et une organisation, au détriment des autres. Un peu comme, au fil de l'évolution, la sélection naturelle favorise, parmi

toutes les variations apparues de façon aléatoire dans un environnement donné, celles qui donnent un avantage pour survivre dans cet environnement. Jean-Jacques Kupiec nomme d'ailleurs son modèle le darwinisme cellulaire.

Plus récemment, d'autres modèles conciliant différenciation cellulaire et expression aléatoire des gènes ont aussi été proposés. Dans l'un, le hasard dans l'expression des gènes est vu comme un bruit qui oriente la dynamique de réseaux de régulation des gènes. Dans un autre, chaque cellule en cours de différenciation est vue comme une particule se déplaçant dans un espace d'états. Dans cet espace, les stades cellulaires identifiés (différencié, répliqué...) sont des régions susceptibles d'attirer les particules – des attracteurs –, et l'on passerait d'un attracteur