

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice de la rédaction : Françoise Pétry

Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal

Rédacteurs : François Savatier, Marie-Neige Cordonnier,
Philippe Ribeau-Gésippe, Guillaume Jacquemont, Sean Bailly

Dossiers H.S. Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef : Françoise Pétry

Rédacteur : Sébastien Bohler

L'Essentiel Cerveau & Psycho H.S.

Rédactrice : Bénédicte Salthun-Lassalle

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Annie Tacquenot,

Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy,
Caroline Vanhoove.

Site Internet : Philippe Ribeau-Gésippe

Marketing : Élise Abib assistée de Anaïs Grelet

Direction financière : Anne GUSDORF

Direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Jérôme Jalabert assisté de Marianne Sigogne

Presse et communication : Susan Mackie

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Conseillers scientifiques : Philippe Boulanger et Hervé This

Ont également participé à ce numéro : François Arleo, Damir

Buskulić, Nadine Cerf-Bensussan, Carlo Costantini, Françoise

Dal'Bo-Milonet, Gérard Eberl, David d'Enterría, Évelyne

Host-Platret, Jérôme Novak, Christophe Pichon, Estelle

Rose-Koga, William Rostène, Daniel Tacquenot, Paul Tafforeau.

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jf.guillotin@pourlascience.fr), assisté de Nada Mellouk-Raja

Tél. : 01 55 42 84 28 ou 01 55 42 84 97 • Fax : 01 43 25 18 29

SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Bouffaré. Tél. : 01 55 42 84 04

Espace abonnements :

http://tinyurl.com/abonnements-pourlascience

Adresse e-mail : abonnements@pourlascience.fr

Service des abonnements - 8 rue Férou - 75278 Paris cedex 06

Commande de livres ou de magazines :

0805 655 255 (numéro vert)

DIFFUSION DE POUR LA SCIENCE

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tel : 04 88 15 12 41

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-oies - 1130 Bruxelles.

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

SCIENTIFIC AMERICAN Editor in chief : Mariette DiChristina. Editors :

Fred Guterl, Ricky Rusting, Philip Yam, Mark Fischetti, Christine Gor-

man, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong. President :

Steven Inchcoombe. Executive Vice President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public fran-

çais ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les do-

cuments contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue

« Scientific American », dans les livres édités par « Pour la

Science » doivent être adressés 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

interdit de reproduire intégralement ou par-

tiellement la présente revue sans autorisa-

tion de l'éditeur ou du Centre français de l'ex-

ploitation du droit de copie [20, rue des

Grands-Augustins - 75006 Paris].



Intrications paradoxales

En 1935, Albert Einstein et d'autres physiciens travaillant sur la théorie quantique proposèrent que certaines particules, même fort éloignées, sont liées par une connexion qu'ils qualifièrent de fantomatique. En raison de ce phénomène nommé intrication, les propriétés de ces particules se coordonnent, c'est-à-dire que leurs états sont liés malgré la distance qui les sépare. Dans certains matériaux, les électrons sont intriqués en masse dans des conditions particulières de température et de pression. En considérant le « degré d'intrication » comme une dimension supplémentaire, les physiciens parviennent à étudier les surprenantes propriétés de ces matériaux (voir *Métaux étranges et théorie des cordes*, page 36).

Des comportements étranges apparaissent dans un tout autre domaine : celui des statistiques, dont l'interprétation réserve parfois quelques surprises. Ainsi, supposons que l'on cherche à comparer l'effet d'un médicament et celui d'un placebo. Quand les hommes et les femmes sont testés séparément, le placebo est plus efficace. Mais quand on regroupe hommes et femmes, on constate que... le médicament est plus efficace que le placebo !

L'interprétation des statistiques réserve parfois quelques surprises.

Ce paradoxe dit de Simpson, du nom de celui qui l'a décrit le premier en 1951, est gênant. Il est indispensable d'en avoir conscience quand il s'agit de prendre des décisions sanitaires pertinentes (voir *L'embarrassant paradoxe de Simpson*, page 80). Tout aussi embarrassant, le paradoxe d'Esterlin. Cet économiste américain confirma l'adage : l'argent ne fait pas le bonheur. Il l'établit en reliant la perception du bien-être en fonction des revenus. Toutefois, cette conclusion était sans doute hâtive et le paradoxe est remis en question : le bonheur serait relatif et dépendrait notablement de la fortune du voisin (voir *La mesure du bonheur*, page 66).

Plus surprenant : les Français sont moins heureux que leurs voisins européens, à revenus comparables. Ils éprouvent moins d'émotions positives et davantage d'émotions négatives. La mentalité et la culture françaises en seraient la cause. À moins que quelque biais statistique n'entache ce résultat...

1 ÉDITO

4 BLOC-NOTES

Didier Nordon

Actualités

6 Le plus ancien squelette de primate

7 Le sillage fait des vagues



8 Comment l'organisme cohabite avec sa flore intestinale

10 Un théorème pour nombres premiers presque jumeaux

... et bien d'autres sujets.

Opinions

14 POINT DE VUE
Pour une mémoire des risques

Emmanuel Garnier

15 DÉVELOPPEMENT DURABLE
Marché européen du carbone : une réforme est nécessaire

Raphaël Trotignon

19 VRAI OU FAUX
Une planète doit-elle être petite pour être naine ?

Guillaume Jacquemont



Ce numéro comporte un encart « Voyage culturel de 8 jours en Turquie » (Dialogue Marketing) posé sur la totalité de la diffusion abonnés, et deux encarts d'abonnement *Pour la Science* brochés sur la totalité du tirage.

En couverture : © Peter Waters/shutterstock.com

À LA UNE

20 PSYCHOLOGIE ANIMALE
L'intelligence des abeilles

Aurore Avarguès-Weber

Les abeilles ont des facultés cognitives étonnantes pour des animaux dotés d'un si petit cerveau. L'étude des mécanismes neuronaux sous-jacents pourrait inspirer certains dispositifs d'intelligence artificielle.

28 BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Des clés moléculaires pour les cellules

Roland Brock et Wouter Verdurmen

La membrane des cellules est infranchissable pour nombre de molécules présentant un intérêt thérapeutique. De petits fragments de protéines découverts dans les années 1990 pourraient leur permettre d'accéder à l'intérieur des cellules.

36 PHYSIQUE
Métaux étranges et théorie des cordes

Subir Sachdev

Certains états de la matière récemment identifiés ont pour origine des phénomènes quantiques que les théoriciens ont du mal à étudier avec les outils usuels. Un domaine inattendu vient à leur rescousse : la théorie des cordes.



44 MATHÉMATIQUES

Le tricot mathématique

Sarah-Marie Belcastro

Le tricotage permet de traduire des surfaces et des objets mathématiques abstraits en formes tangibles. Mais cela exige à la fois du temps et de la créativité.

52 TECHNOLOGIE SPATIALE

Des vols spatiaux pour tous ?

Alan Stern

L'espace de demain ne sera pas réservé uniquement aux touristes fortunés. Pour les chercheurs, l'industrie spatiale commerciale naissante ouvre des possibilités nouvelles, moins chères et variées.

59 ARCHÉOLOGIE

L'amphithéâtre romain, une architecture optimale

Jean-Claude Golvin

La *spectacula*, qui deviendra l'amphithéâtre, est le seul grand édifice antique spécifiquement romain. Il est le fruit de siècles d'une étonnante optimisation architecturale.



66 SCIENCES SOCIALES

La mesure du bonheur

Joachim Weimann, Ronnie Schöb et Andreas Knabe

Les économistes cherchent à quantifier la notion de bonheur. Mais les méthodes qu'ils élaborent sont à manier avec précaution et produisent des résultats aussi intéressants que difficiles à interpréter...

Regards

74 HISTOIRE DES SCIENCES

Les pionniers oubliés de la TSF

Jean-Jacques Ledos

Des débuts de la transmission sans fil, on connaît surtout les grandes étapes et les découvreurs associés. Mais son histoire est bien plus que cela.

80 LOGIQUE & CALCUL

L'embarrassant paradoxe de Simpson

Jean-Paul Delahaye

Les statistiques conduisent à des décisions fondées et rationnelles... à moins qu'un paradoxe ne s'en mêle, comme cela arrive avec certains jeux de données.

86 SCIENCE & FICTION

Le fantasma de l'invisibilité

Roland Lehoucq et J. Sébastien Steyer

88 ART & SCIENCE

Entre le vivant et l'inerte

Loïc Mangin

90 IDÉES DE PHYSIQUE

Les mélodies du café soluble et de l'hélium

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

93 SCIENCE & GASTRONOMIE

Pelures toxiques

Hervé This

94 À LIRE

Rendez-vous sur

POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence
de l'actualité scientifique internationale

■ Toutes les sciences en un clic

- Des actualités quotidiennes
- Des articles en libre accès
- Votre magazine numérique en ligne*
- Plus de 8 ans d'archives*

■ Des services exclusifs

- Les réactions aux articles**
- Des offres d'emploi scientifiques
- Des newsletters**
- Un espace abonnement

* Service payant. Si vous êtes abonné(e), les numéros compris dans votre abonnement sont offerts.
** En créant votre compte.

→ COMMENT DÉBIAISER ?

Certaines recherches sur les comportements humains passent par l'observation de cobayes rémunérés. Ceux-ci, sans doute, sont moins souvent bourgeois nantis que chômeurs désargentés. Un biais risque donc de s'introduire. Qui sait si le stress dû à la pauvreté ne modifie pas, par exemple, la variation des paramètres physiologiques en fonction des stimulus ? Il s'est trouvé des chercheurs au XIX^e siècle pour envisager des hypothèses de ce genre, et étudier les particularités des odeurs émises par les mendiants (Alain Corbin, *Le miasme et la jonquille*, chap. *La puanteur du pauvre*).

L'argent n'est pas seul fauteur possible de biais. Une enquête de santé publique actuellement en cours suit une cohorte de volontaires sur une longue période : tests sanguins, examens médicaux, électrocardiogrammes, dépistages divers. Les gens que la médecine angoisse sont exclus ; si elle les effraie, s'ils ne se tournent vers elle que quand la maladie les y force, ils ne se sont sûrement pas portés volontaires. Qui sait si leur fuite devant la médecine n'est pas liée à des spécificités dans leurs profils médicaux qu'il aurait été intéressant de découvrir ?

Les biais sont aux statistiques ce que l'incomplétude est à la logique. On a beau faire, il se pose toujours des questions auxquelles on n'a pas de quoi répondre.



→ AIMABLE CONTRADICTION

La meilleure façon d'enrichir votre pensée est d'écouter les objections et de les prendre non comme un désaveu, mais comme une stimulation. Il n'y a donc rien de masochiste à dire : « J'aime la contradiction. » Mais, si vous dites cela et que, de fait, je contredis l'un de vos propos, je vais dans votre sens, puisque je flatte votre caractère. En apparence, je vous contredis ; en vérité, je me conforme à ce que vous attendiez de moi.

On ne peut jamais satisfaire ceux qui aiment la contradiction. Voilà pourquoi ils sont toujours contrariés.

→ PRÉVISIONS INCERTAINES

La tirade de la calomnie du *Barbier de Séville* a beau décrire un procédé aussi familier à notre temps qu'à celui de Beaumarchais, elle ne dit pas si telle rumeur sur Internet visant telle personnalité est ou non une calomnie.

Demême, lorsque La Rochefoucauld écrit : « Pour bien savoir les choses, il en faut savoir le détail ; et comme il est presque infini, nos connaissances sont toujours superficielles et imparfaites », il me console en montrant que de grands esprits ont été, eux aussi, désarmés devant le monde, mais il ne me donne aucun moyen de sortir de mes perplexités.

Enfin, les études sur les polémiques scientifiques décrivent la rigidité de savants passionnés au point de ne plus entendre les arguments adverses. Mais, quand une polémique éclate, les lois de la psychologie ne révèlent pas si la crispation de tel sur sa position tient au fait qu'il voit juste ou au fait qu'il s'accroche à son erreur.

Bref, les notations morales ou psychologiques cernent l'éternel humain, si tant est qu'il existe, mais n'aident pas à agir, car les circonstances auxquelles celui-ci est confronté sont toujours inattendues. Or tout dépend d'elles. Les problèmes jouent

avec les hommes comme avec des dés. Quoiqu'un dé soit un objet bien connu, on ne sait jamais quelle face sortira. Un probabiliste ne prédit pas quelle combinaison gagnera au loto, pas plus qu'un météorologue ne prévoit si l'orage va éclater ici ou là-bas. Les sciences voient, elles aussi, l'issue des configurations éphémères leur échapper.

La relative constance des traits essentiels inhérents à l'homme nous donne du temps pour les découvrir au fil des siècles. Seulement, en chaque situation, les circonstances jouent un rôle déterminant. Et ce qu'elles ont de permanent, c'est de changer sans cesse. Du coup, connaître l'essentiel ne donne pas de maîtrise sur les événements.

→ CASSANDRE CLAIRVOYANT

Celui qui, dans les années 1930, sentait venir une guerre était-il pessimiste ? Celui qui, dans les années 1960, estimait que la tension Est-Ouest se résorberait sans guerre était-il optimiste ? Non. Ils étaient clairvoyants.

Est-il pessimiste, celui qui, aujourd'hui, craint que la collecte de données informatiques et biométriques n'aide notre société à se muer en tyrannie ? Mauvaise question. Ce qui importe est de savoir s'il est clairvoyant.

Annoncer le pire afin qu'il ne se réalise pas : c'est le paradoxe du prophète de malheur. Sa noirceur n'est pas un excès, mais

