

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, Bénédicte Salthun-Lassalle,
Guillaume Frasca

Dossiers Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin

Rédacteur : Guillaume Jacquemont

Cerveau & Psycho

L'Essentiel Cerveau & Psycho

Rédactrice en chef : Françoise Pétry

Rédacteur : Sébastien Bohler

Directrice artistique : Céline Lapert

Secrétariat de rédaction/Maquette : Annie Tacqueten,

Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Site Internet : Philippe Ribeau-Gésippe assisté de Ifédayo Fadojo

Marketing : Élise Abib

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 :

Ahmed Aarab, Christophe Bonnal, Frédéric Brechenmacher,
Cécile Chevrier, Ghislaine Dehaene-Lambert, Marcello
Fulchignoni, Peter Galison, Raphaël Garcia, Évelyne Host-Platret,
Étienne Koechlin, Marc Mauduit, Christophe Pichon, Géraldine
Rauchs, Daniel Tacqueten, Todd Treangen, Philippe Valet.

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

Adresse postale :

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

Commande de dossiers ou de magazines :

02 37 82 06 62 [de l'étranger : 33 2 37 82 06 62]

DIFFUSION DE POUR LA SCIENCE

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 : Ricky
Rusting, Philip Yam, Gary Stix, Davide Castelvecchi, Graham Collins, Mark
Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate
Wong. President : Steven Inchcoombe. Vice President : Frances Newburg.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou
francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents conte-
nus 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'adop-
tation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le
nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific Ame-
rican, 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 partiellement la présente revue
sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de
l'exploitation du droit de copie [20, rue des Grands-Augus-
tins - 75006 Paris].



Le temps des turbulences

Les nuages, l'eau qui tourbillonne dans une cascade, les fumées, des liquides colorés qui se mélangent... Les fluides semblent avoir des mouvements chaotiques. Toute perturbation modifie leur écoulement d'une façon généralement imprédictible. Dès lors, la mise en équations du comportement des fluides tient du défi. Toutefois, divers physiciens se sont attelés à la tâche, notamment le Français Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836) à qui l'on doit les équations de la mécanique des fluides, dites de Navier-Stokes. On n'a pas retenu le nom d'un autre physicien français qui a pourtant notablement amélioré la formulation de ces équations : Adhémar Barré de Saint-Venant (1797-1886). Il tomba dans les oubliettes de l'histoire, et c'est le Britannique George Gabriel Stokes (1819-1903) qui passa à la postérité.

Les phénomènes de turbulence restent mal compris, mais les équations de Navier-Stokes – que l'on ne sait pas toujours résoudre – sont utilisées par les ingénieurs et les physiciens qui s'intéressent au comportement des fluides (voir *Turbulences sur les équations des fluides*, page 26). Elles servent à élaborer des modèles numériques et à étudier l'écoulement des fluides, l'aérodynamique des trains à

Le modèle n'a aucune imagination.

grande vitesse et des avions, ou les mouvements des masses d'air qui circulent autour de la planète. On peut ainsi suivre le transport des éléments radioactifs en provenance du Japon.

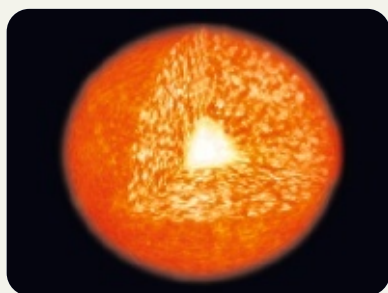
Quand ils ont été construits dans les années 1970, les réacteurs de Fukushima ont été implantés dans une zone qui avait été déclarée sûre d'après les conclusions fournies par les modèles – les plus élaborés disponibles alors – du risque sismique au Japon. Les modèles se sont trompés (voir *Le mégaséisme de subduction du Japon*, page 34).

Les modèles numériques sont de puissants outils. Ils permettent notamment de tester des hypothèses de façon beaucoup plus rapide et précise que ne le feraient des expériences. On peut tester sans limite les conséquences dues à la modification de chacun des paramètres. Ils autorisent parfois même des prédictions sur des événements rares. Mais ce sont des outils au service de l'homme, qui ne remplacent pas l'homme, qui ne prévoient pas ce que l'homme n'aura pas anticipé. Le modèle n'a aucune imagination. Pas plus en matière de sécurité nucléaire que d'évolution des turbulences, qu'elles soient physiques... ou politiques et sociales. ■

- 1 **ÉDITO**
 4 **BLOC-NOTES**
Didier Nordon

Actualités

- 6 Des Américains antérieurs
à la culture de Clovis
 8 Mieux soigner
les épilepsies infantiles
 9 Le prix Abel 2011
attribué à John Milnor
 12 Le cœur des géantes
rouges dévoilé



... et bien d'autres sujets.

- 16 **ON EN REPARLE**

Opinions

- 18 **POINT DE VUE**
Il est urgent de prévenir
les troubles de l'audition
chez l'adolescent
Michel Mondain et Frédéric Venail
 19 **ÉCONOMIE**
Les pollueurs
ne sont pas les payeurs
Ivar Ekeland
 20 **DÉVELOPPEMENT DURABLE**
Végétaliser les toitures
et terrasses
Maeva Sabre et Gaëlle Bulteau
 22 **VRAI OU FAUX**
Les hommes
sont-ils monotâches ?
Bénédicte Salthun-Lassalle
 24 **COURRIER DES LECTEURS**

À LA UNE

26 MATHÉMATIQUES

Turbulences sur les équations des fluides

L'un des problèmes mathématiques les plus en vue porte sur les écoulements des liquides ou des gaz. Les équations dites de Navier-Stokes utilisées pour les décrire et les prévoir sont-elles valides ?

34 GÉOPHYSIQUE

Le mégaséisme de subduction du Japon

Pierre Henry

Les sismologues n'avaient prévu ni le mégaséisme qui a secoué la grande île de Honshu au Japon, ni le raz de marée de 20 mètres de haut qui a suivi. Des mécanismes inédits jusqu'à présent sont en cause.

41 DOSSIER

LE MOT JUSTE

Comment le cerveau l'acquiert, le choisit et le produit

→ **Comment les enfants (p. 42)
apprennent leur langue
maternelle**

É. Cauvet, P. Brusini, I. Brunet et A. Christophe

→ **La production des mots (p. 50)**

F.-Xavier Alario

→ **La musique de *Enfin* (p. 56)**

Mélanie Petit

62 **ASTRONOMIE** **Les satellites les plus étranges du Système solaire**

David Jewitt, Scott Sheppard et Jan Kleyna

Évoluant sur des orbites étirées et dans le sens souvent inverse de celui attendu, les satellites irréguliers ouvrent une fenêtre sur la formation des planètes.



70 **CLIMATOLOGIE** **Les victimes du changement climatique**

Alex de Sherbinin, Koko Warner et Charles Ehrhart

Les modifications des régimes de pluies et des rivages côtiers pourraient entraîner des migrations humaines d'une ampleur sans précédent.

76 **BIOLOGIE CELLULAIRE** **La vie agitée du génome**

Tom Misteli

Entre deux divisions cellulaires, l'ADN des chromosomes se révèle plus organisé que prévu. L'activité des gènes dépend de leur position et de leurs déplacements dans le noyau : silencieux en périphérie, ils sont actifs au centre.



Regards

84 **HISTOIRE DES SCIENCES**

Le monde vivant selon al-Djâhiz

Meyssa Ben Saad
et Mehrnaz Katouzian-Safadi

Au Moyen Âge, dans l'Empire arabo-islamique, de nombreux savants décrivent le monde vivant. L'un d'eux, al-Djâhiz, érudit de la cour de Bagdad, apporte un regard nouveau fondé sur l'observation et la raison.

88 **LOGIQUE & CALCUL**

Infini et impossible !

Jean-Paul Delahaye

Placer une infinité d'impossibilités dans un seul dessin peut sembler un peu futile. Cela produit pourtant de troublantes images où l'œil est mis à rude épreuve.

94 **ART & SCIENCE**

William Kentridge et la négation du temps

Loïc Mangin

96 **IDÉES DE PHYSIQUE**

Des électrons en boîte pour donner des couleurs

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

101 **SCIENCE & GASTRONOMIE**

Brandade de morue

Hervé This

102 **À LIRE**

Sur la totalité des numéros :
deux encarts d'abonnement pages 24 et 25.
Encarts commande de livres et abonnement pages 76 et 77.
Un encart *Sciences humaines* posé sur la diffusion abonné France.
En couverture : © Shutterstock/Leigh Prather

Rendez-vous sur **SCIENCE.fr**

» Plus d'informations

- L'intégralité de votre magazine en ligne
- Des actualités scientifiques chaque jour
- Plus de 5 ans d'archives
- L'agenda des manifestations scientifiques

» Les services en ligne

- Abonnez-vous et gérez votre abonnement en ligne
- Téléchargez les articles de votre choix
- Réagissez en direct
- Consultez les offres d'emploi

www.pourlascience.fr

→ LE MULTIVERS DE LA POLITIQUE

Selon les domaines, chaque individu est plutôt conservateur ou novateur, autoritaire ou laxiste, rationnel ou affectif, étroit ou large d'esprit. Il peut, par exemple, être effarouché en matière de mœurs, mais prêt à toutes les aventures technologiques – ou inversement. Il peut accepter de partager ses biens, mais ne pas supporter de renoncer à son pouvoir. Etc. Bref, il se manifeste par une nébuleuse d'options peu corrélées entre elles. Les notions politiques de gauche et de droite sont donc des synthèses trop sommaires pour être pertinentes. Plus grave, leur affrontement réducteur conduit les élus à se raidir et ne mène à rien de bon.

Les géomètres abstraits vont ici révéler leur utilité. Détruisons le Palais-Bourbon et le palais du Luxembourg, dont l'architecture favorise l'opposition stérile entre gauche et droite, et confions aux géomètres la construction de deux hyperhémicycles à 36 000 dimensions. Les hypersièges seront repérés par leurs coordonnées sur 36 000 axes correspondant à 36 000 types de problèmes (mœurs, techniques, religions, sciences, éducation, argent, pouvoir, arts, etc.). Sur chaque axe, gradué du plus réactionnaire au plus révolutionnaire, chaque élu choisira la coordonnée exprimant au mieux sa position.



Évidemment, nous qui, n'étant pas géomètres, manquons de familiarité avec les espaces à 36 000 dimensions, nous n'y verrons plus rien. Mais cela plaide pour ma proposition. Croire à une lisibilité de la société est en effet une erreur. La société est un fouillis d'actions et de réactions partant tout le temps dans tous les sens. Nul n'arrive jamais ni à analyser complètement le passé, ni à saisir tout ce qui est en train de se produire, ni à anticiper l'avenir. Pour être fidèle, la représentation nationale doit être à l'image de ce chaos. D'ailleurs, lorsque la réforme que je propose sera entrée en vigueur, on constatera que des hyperhémicycles à 36 000 dimensions pèchent encore par simplisme. Il sera temps, alors, de leur adjoindre des dimensions fractales.

→ HYPOCRISIE DURABLE

Si nous étions adeptes du développement durable, nous aspirerions à ce que l'ordinateur légué par nos parents soit celui dont, sans panne ni obsolescence, se serviront encore nos enfants et nos petits-enfants. Nous nous opposerions au progrès technologique, puisque celui-ci nous incite à nous débarrasser de nos objets, dépassés avant d'être usés, au risque de dilapider les ressources naturelles. Il n'est pas de développement durable sans objets durables.

En fait, peu de nous sont prêts à payer le prix du développement durable, c'est-à-dire à renoncer à la griserie des gains de puissance qu'apporte le progrès technologique. Mais nous ne voulons pas mettre nos paroles en accord avec nos actes et, comme ont fait tant d'autres, dire : « Après nous, le Déluge. » Ce serait reconnaître que nos technologies supérieures ne changent pas grand-chose à l'éternel humain. Du

coup, nous courons après le progrès tout en vantant le développement durable, faisant ainsi perdurer cet autre éternel humain qu'est l'hypocrisie.



→ VISION AVEUGLE

Une activité est d'autant plus scientifique, dirait-on, qu'elle laisse moins de place en son sein à l'expression du pessimisme. Quand un chercheur anticipe les conséquences de son travail, il se montre confiant et plein d'allant. « Grâce à nos recherches, on pourra faire ceci et cela », annonce-t-il, où « ceci » et « cela » désignent des rêves ou des désirs dont la réalisation sera éminemment bénéfique.

L'histoire devrait rendre prudent. Il n'est guère de progrès scientifique ou technique qui n'ait sa face d'épouvante. La chimie et les gaz, la physique et les bombes, la biologie et les armes bactériologiques ; la médecine, mise par les dictatures au service de tortures, d'exécutions, d'internements psychiatriques ; et peut-être, dans un avenir plus ou moins lointain, l'informatique, avec la surveillance systématique des populations.

Seulement, un chercheur qu'inquiéterait trop le risque de voir son travail engendrer une horreur serait paralysé. L'optimisme obligé de la recherche est un de ses points aveugles les plus critiquables. Une ques-

tion reste posée : quelle part de responsabilité le chercheur a-t-il dans l'utilisation qui sera faite de ses résultats ?

→ TRACES DÉLÉBILES

Selon certains commentateurs, les supports électroniques ne résisteront pas au temps. À leur confier tant de documents, nous risquons de ne pas laisser de traces durables. Les archéologues de l'avenir auront encore moins d'éléments sur nous que nous n'en avons sur les hommes qui ont peint Lascaux.

Soit. Mais pourquoi s'affliger devant cette perspective ? Soyons modestes : à ne pas nous connaître, nos descendants subiront-ils vraiment un dommage irrémédiable ? Et puis, s'ils commettent à notre sujet l'erreur que nous avons commise à propos des peuples que nous avons qualifiés de « primitifs », ils déduiront du manque de vestiges légués par notre histoire que nous n'avons tout simplement pas eu d'histoire. Ils concluront (pourvu qu'ils aient les mêmes dictons que nous) que nous avons été un peuple heureux.

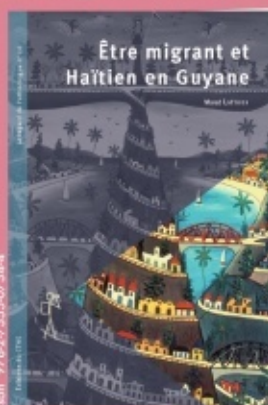
Ainsi, notre absence de traces donnera de nous une image infidèle, mais attrayante. Avec un peu de chance, le mystère enveloppant notre civilisation fera rêver, et on prendra celle-ci pour un modèle idéal auquel aspirer. Que souhaiter de mieux ? ■



Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

la plus importante collection d'instruments de travail pour la recherche en sciences humaines

Le regard de l'ethnologue n° 26



Être migrant et Haïtien en Guyane
Maud Laëthier
Préface de Marie-José Jolivet

320 pages
ill. noir et blanc
16 x 24 cm
26 €

CTHS Histoire n° 45



La province antiquaire
L'invention de l'histoire locale en France (1800-1870)
Odile Parsis-Barubé

464 pages
15 x 22 cm
28 €

CTHS Histoire n° 43



Hommes de la vigne et du vin
Sous la direction de Sophie Delbrel et Bernard Gallinato-Contino

208 pages
ill. noir et blanc
15 x 22 cm
20 €

* ventes@cths.fr * vente en librairie ou sur notre site : www.cths.fr * Distribution SODIS *