

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-Géssippe, Bénédicte Salthun-Lassalle,
Cécile Fourrage

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 Tacquenot,
Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Site Internet : Philippe Ribeau-Géssippe assisté de Ifédayo Fadoju

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 :

Marie-Annick Billon-Galland, Philippe Ciofi,
Emmanuel Douzery, Thierry Fournier, Sophie Gallé-Soas,
Éric Gourgoulhon, René Habert, Anne Masé,
Laurence Plévert, David Quéré, Lin Shao, Johannes Steiger,
Frédéric Thomas.

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 livres ou de magazines :

0805 655 255 (numéro vert)

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.

SCIENTIFICAMERICAN Editor in chief: Mariette DiChristina. Editors: Ricky Rus-
ting, 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 Ameri-
can », 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'adap-
tation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom
commercial « Scientific American » sont la propriété de Scien-
tific 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 partiellement la présente revue
sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'ex-
ploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins -
75006 Paris).



Un monde d'ondes

Les ondes ? Des ronds qui se propagent à la surface lisse de l'étang où l'on a jeté un petit caillou, ou la houle d'une mer déchaînée ; la lumière et les couleurs du soleil cou-
chant ou de l'arc-en-ciel ; les signaux qui permettent d'écou-
ter la radio, de regarder la télévision ou de téléphoner. Ces exemples
sont tellement familiers qu'on en oublie l'essence : les ondes. Elles se
propagent dans les profondeurs de la Terre – les ondes sismiques –, à
sa surface – les ondes des océans –, dans le cosmos – les ondes au
cœur des étoiles. Elles se manifestent à courte distance – celle de
l'atome – ou à des distances gigantesques dans l'Univers – les ondes
gravitationnelles. Le vivant n'est pas exclu, puisque des ondes élec-
triques sont présentes dans le cerveau de toutes les espèces, y com-
pris quand il ne s'agit que d'ébauches de centres nerveux.

Omniprésentes, elles sont également complexes. L'image des ronds
dans l'eau qui s'écartent régulièrement du centre où a eu lieu la pertur-
bation est un cas d'école. Dans la réalité, les réverbérations, les interac-
tions, les changements de la profondeur de la mare, la présence de vent,
d'obstacles ou de pluie perturbent la belle ordonnance initiale. Et cela s'ap-
plique à toutes les ondes, quel que soit le milieu où elles se propagent.

La complexité devient un atout.

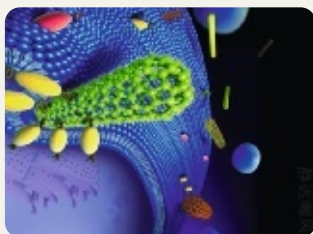
Toutefois, malgré ces difficultés, certaines limites considérées comme
infranchissables sont aujourd'hui repoussées. Impossible de focaliser
la lumière dans un milieu diffusant, le brouillard par exemple, disait-on.
Les physiciens y parviennent désormais. Impossible d'obtenir une réso-
lution meilleure que la demi-longueur d'onde du rayonnement utilisé ! Là
encore, les physiciens se jouent de cette limite. Impossible d'extraire des
informations du bruit de fond des ondes sismiques. Pourtant, celui dû
aux vagues qui se brisent sur les côtes ou aux trains de houle dont la
collision se répercute sur le fond, loin d'être parasite, permet aux sis-
mologues de mieux comprendre les humeurs de la Terre et sa structure.

Non seulement la complexité n'est plus un obstacle, mais elle devient
un atout. C'est le cas pour une méthode consistant à faire revivre aux
ondes le film de leur vie passée. Dans ces conditions, plus le milieu qu'elles
traversent est complexe, plus le signal recueilli après l'opération sera pré-
cis. Enfin, l'activité globale du cerveau est plus que la simple somme
des activités de ses neurones pris individuellement. Un tel phénomène
d'émergence sous-tendrait l'apparition de la conscience. La complexité
réinterprétée des ondes bouscule les frontières de toute la physique qui
nous entoure. Et ces exemples n'étaient qu'une mise en bouche ! ■

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

Actualités

- 6 Des neutrinos plus rapides que la lumière ?
 7 Le lait de pigeon
 7 Naissance en douceur pour les étoiles
 10 Les prix Nobel 2011
 12 Comment l'amiante perturbe les cellules humaines



... et bien d'autres sujets.

- 16 **ON EN REPARLE**

Opinions

- 18 **POINT DE VUE**
 La carte bancaire ne doit pas remplacer la carte *Vitale* !
André Grimaldi
 20 **VRAI OU FAUX**
 Des douleurs dorsales peuvent-elles être dues à des défauts aux dents ?
Bénédicte Salthun-Lassalle

138 Mémento des ondes

Vous n'êtes pas familier avec les ondes et la terminologie qui s'y rapporte ? Aidez-vous de ce mémento où les principales notions et plusieurs exemples sont présentés de façon synthétique.

L'univers des ONDES

Quand la physique dépasse ses limites

- 22 **MATHÉMATIQUES**
 Les ondes, entre physique et mathématiques

Claude Bardos

- 30 **PHYSIQUE**
 La complexité : un atout pour le retournement temporel des ondes

Mathias Fink

- 38 **PHYSIQUE**
 Façonner la lumière pour contrôler la matière

Béatrice Chatel

- 44 **IMAGERIE**
 Voir à travers le brouillard

Sylvain Gigan

- 50 **NANOTECHNOLOGIES**
 Lumière sur l'infiniment petit

Rémi Carminati et Yannick De Wilde

- 58 **PHYSIQUE**
 Les ondes sous l'emprise des métamatériaux

S. Guenneau, S. Enoch et R. McPhedran

- 64 **GÉOPHYSIQUE**
 Ce bruit sismique qui sonde la Terre

Michel Campillo

72 ASTROPHYSIQUE**L'astérosismologie :
voir battre le cœur des étoiles***É. Michel, M. Auvergne et A. Baglin***84 ASTROPHYSIQUE****Les ondes gravitationnelles,
la bande son de l'Univers***Bernard Schutz et Stefano Vitale***90 MATHÉMATIQUES****Les vagues en équations***David Lannes***98 PHYSIQUE****La dualité onde-corpuscule
à l'œil nu***Emmanuel Fort et Yves Couder***106 PHYSIQUE****Des ondes de matière
pour tester les lois
de l'Univers***R. Geiger, V. Ménoret et Ph. Bouyer***114 PHYSIQUE****Des ondes de spin
pour l'électronique***M. Cazayous, Y. Gallais et A. Sacuto***120 NEUROSCIENCES****Des ondes dans le cerveau***Stéphane Charpier***128 ÉPIDÉMIOLOGIE****Champs et ondes :
quel impact sur la santé ?***Luc Verschaeve et Jacques Vanderstraeten***134 TÉLÉCOMMUNICATIONS****Comment on attribue
les fréquences***Jean-Jacques Guitot***Regards****142 HISTOIRE DES SCIENCES****La victoire posthume
de Robert Scott***Edward Larson*

Il y a 100 ans, l'explorateur britannique Robert Scott perdait la course à la conquête du pôle Sud. Pourtant, ses découvertes ont joué un rôle majeur dans l'acceptation de la théorie de l'évolution.

146 LOGIQUE & CALCUL**Les surprises du jeu
de pile ou face***Jean-Paul Delahaye*

Les erreurs de nos jugements spontanés sont parfois étonnantes. Le hasard créé par les lancers d'une pièce de monnaie en est l'exemple le plus frappant : tout y semble paradoxal.

152 IDÉES DE PHYSIQUE**Petite goutte
deviendra grande***Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik***157 SCIENCE & GASTRONOMIE****Pour faire des sablés tendres***Hervé This***158 À LIRE**

Ce numéro comporte deux encarts d'abonnement *Pour la Science* brochés sur la totalité du tirage (p. 25 et 136) ; un encart *Saffar-Universalis*, un encart *Turquie* posé sur la quatrième de couverture de l'édition abonnés France. Une offre d'abonnement *Pour la Science* est disponible en p. 113, ainsi qu'une sélection de livres en p. 97.
En couverture : © Shutterstock/Tiberiu Stan

Rendez-vous sur **POURLA 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
- Consultez les offres d'emploi
- Réagissez en direct
- Téléchargez les articles de votre choix

www.pourlascience.fr

→ LEÇON DE CIVISME

N'ayant pas à parler politique dans ces colonnes, je n'ai pas à critiquer l'abstentionnisme en tant qu'attitude politique. En revanche, je peux – et je dois – le condamner en tant qu'attitude scientifique.

On a en effet le droit de contester l'enjeu politique d'une élection (« C'est blanc bonnet ou bonnet blanc »), on n'a pas le droit de nier son utilité scientifique. Une élection sert à tester la série de sondages qui l'ont précédée. Elle est l'expérience en vraie grandeur, coûteuse donc rare, venant les mettre à l'épreuve. Grâce à elle, les sondages corrigent, affinent, améliorent leurs méthodes, et font ainsi progresser la science qui fonde celles-ci : la statistique. S'abstenir ou, pire encore, ne pas s'inscrire sur les listes, revient à priver la recherche de données expérimentales dont elle a grand besoin.

Voter est un devoir scientifique.



verselle, elle découvre une origine commune aux projets humains les plus dissemblables.

Profonde aussi, cette remarque de Valéry : « Ce que tu fais le mieux, cela est un piège inévitable » [*Tel Quel*]. Elle rend compte d'attitudes très diverses, depuis l'écolier qui aime les matières où il réussit, jusqu'au vieil artiste qui, incapable de se renouveler, s'obstine dans la voie où il a obtenu le plus d'applaudissements.

Une notation de Proust, enfin : « Je démêlai seulement que répéter ce que tout le monde pensait n'était pas en politique une marque d'infériorité mais de supériorité » [*À l'ombre des jeunes filles en fleurs*]. Voilà qui explique pourquoi tant de participants à tant de débats expriment avec tant de véhémence des positions tant de fois exprimées avant eux !

Toutefois, aujourd'hui comme au temps de Valéry, chacun continue à être prisonnier de ses succès et, comme au temps de Proust, le psittacisme triomphe. Plus une remarque psychologique ou sociologique est profonde, dirait-on, moins elle modifie les choses. Elle dévoile l'inéluctable et l'éternel, approche l'essentiel, fait prendre conscience de réactions vitales intimes sur lesquelles l'individu n'a pas prise, détecte des mouvements que la société n'a pas la force de dévier.

En sciences, au contraire, les idées profondes ont des effets énormes : on ne vit pas dans le même monde avant et après Newton, avant et après Einstein. Une idée scientifique profonde bouleverse la société, une remarque psychologique ou sociologique profonde la laisse intacte !



→ IL N'Y A PLUS D'APRÈS...

Une idée profonde, en sciences, établit un lien entre des phénomènes apparemment hétérogènes. Dans le domaine psychologique et social, elle établit un lien entre des comportements apparemment hétérogènes.

Ainsi, l'idée que nous sommes promis à mourir est profonde. Qu'elle soit banale n'y change rien. Jouissant d'une ubiquité uni-

→ UN FAMEUX MÉGASIME !

Combien de temps faut-il laisser vieillir un vin avant de le boire ? S'il s'agit d'un vin d'Anjou, comptez 400 à 500 millions d'années. Pour un bordeaux, 20 à 40 millions d'années suffiront.

À repenser aux aventures connues par le sol d'où provient le vin qu'il est en train de boire, le géologue Charles Frankel connaît des sensations rares. Lorsqu'il débouche une blanquette de Limoux, il se plaît à « voir monter dans les colonnes de bulles le soupir des derniers dinosaures français », car le vignoble de Limoux pousse parmi leurs fossiles. Quand il savoure un sancerre pour accompagner des huîtres, il songe aux ancêtres de ces dernières : leurs fossiles, vieux de 150 millions d'années, farcissent précisément la couche marneuse où se cultive le sancerre.



Les vins qui ont exigé la plus longue maturation sont ceux d'Anjou : il a fallu la disparition d'un océan pour qu'ils voient le jour. En effet, un océan séparait le Nord et le Sud de l'actuelle France. Une collision entre plaques tectoniques l'a supprimé, broyant et surélevant une pâte de sédiments et de roches volcaniques où les vignes prospèrent aujourd'hui, c'est-à-dire 400 millions d'années plus tard. « Lorsque vous portez à vos lèvres un vin d'Anjou, c'est l'arôme de cette mer disparue qui se rappelle à votre souvenir, ce grand carambolage qui a donné naissance à la France. »

Les vins qui ont demandé le moins de temps sont ceux du Bordelais. Ils sont produits sur un territoire géologique vieux

de quelques dizaines de millions d'années seulement. La valeur n'attend pas le nombre des années ! (D'après Charles Frankel, *Terre de vignes*, Seuil, 2011).

→ PAUVRE VÉRITÉ

Souhaitons que, parmi les personnes impliquées dans le fonctionnement de la justice, aucune n'ait pour préoccupation exclusive de voir établie la vérité des faits !

Qui, en effet, a un intérêt primordial à ce que la vérité perce ? Sûrement pas les malfrats, qui cherchent au contraire à empêcher la justice de faire la lumière sur leurs activités. Les avocats, eux, privilégient la défense de leur client. Iraient-ils révéler quelque fait vrai, mais compromettant pour lui ? Pas si fous ! Lorsqu'ils sont partie prenante d'une affaire médiatique, leurs interventions dans la presse sont souvent des injures à la notion non seulement de vérité, mais même de simple recherche de la vérité.

Quant aux magistrats, ils sont pris dans une hiérarchie, ont des soucis de carrière, sont en butte aux exigences de l'opinion publique : il leur faut une vertu rare pour faire primer coûte que coûte la recherche de la vérité.

Finalement, les seuls à n'avoir d'autre désir que la manifestation de la vérité sont ceux que la justice soupçonne à tort. Voilà pourquoi il faut souhaiter que, parmi les personnes prises dans le cours de la justice, aucune n'ait pour intérêt unique de faire éclater la vérité. ■



Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

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

CTHS Géographie n° 9



Imaginaires des Sahariens
Habiter le paysage
Anne-Marie Frérot

181 pages
ill. noir et blanc
21,5 x 26 cm
35 €

CTHS Sciences n° 11



**Carriers et bâtisseurs de la période
préindustrielle : Europe et régions
limitrophes**
Jean-Pierre Gély
et Jacqueline Lorenz (dir.)

312 pages
ill. noir et blanc
21 x 27 cm
35 €

L'art & l'essai n° 10



Pouvoirs du portrait
sous les Habsbourg d'Espagne
Diane H. Bodart

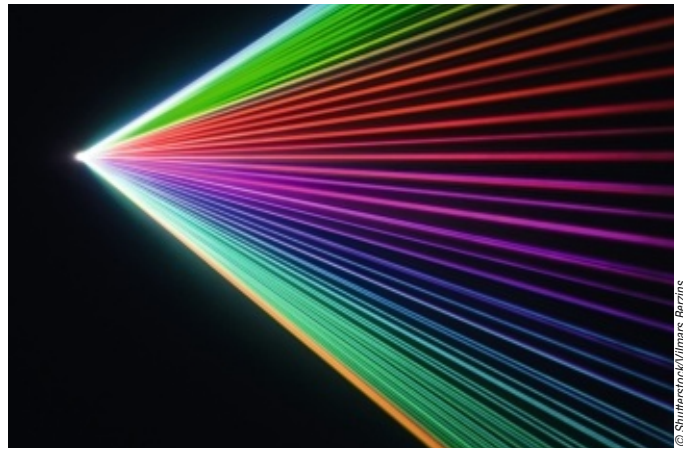
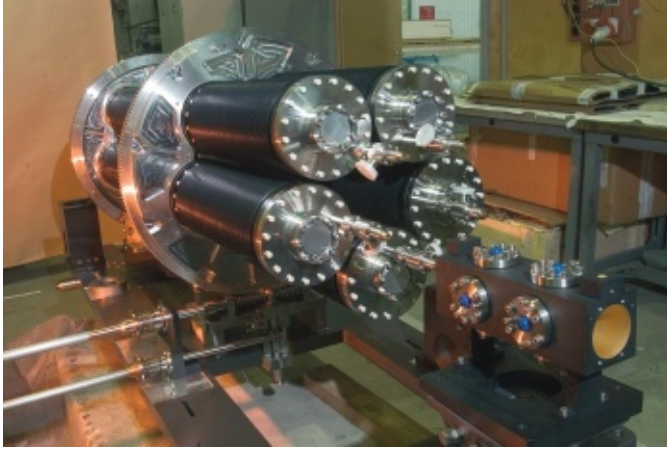
590 pages
ill. couleur et noir et blanc
16,5 x 22 cm
46 €

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

Physique

Des neutrinos plus rapides que la lumière ?

L'équipe de l'expérience internationale OPERA, en Italie, a mesuré la vitesse des neutrinos avec une précision suffisante pour affirmer qu'elle est légèrement supérieure à celle de la lumière. Un résultat inattendu qui, s'il se confirme, fera l'effet d'une bombe en physique fondamentale.



Au CERN, la cible sur laquelle des protons accélérés par la machine SPS viennent frapper est constituée d'une série de cylindres en graphite, longs de dix centimètres et disposés sur deux mètres de longueur (ci-dessus). Les collisions produisent notamment des mésons π et K , dont la désintégration fournit les neutrinos muoniques traqués 730 kilomètres plus loin par les physiciens d'OPERA, au Laboratoire de Gran Sasso en Italie. Selon ces derniers, la vitesse des neutrinos serait supérieure d'environ six kilomètres par seconde à celle de la lumière.

Au Laboratoire souterrain de Gran Sasso, en Italie, l'expérience OPERA étudie depuis plusieurs années un faisceau de neutrinos muoniques produit par l'accélérateur SPS du CERN, à 730 kilomètres de là. Le faisceau est engendré par l'impact de protons accélérés sur une cible de graphite ; les chocs créent des particules instables, notamment des mésons π et K qui se désintègrent chacun en un muon et un neutrino muonique. Les neutrinos ainsi engendrés traversent la croûte terrestre en ligne droite jusqu'au détecteur d'OPERA.

En mesurant précisément la distance que le faisceau doit parcourir et le temps écoulé entre la production des neutrinos et leur détection, les physiciens ont obtenu ce résultat très étonnant : les neutrinos effectuent leur trajet en 60 nanosecondes de moins que ne le ferait la lumière pour la même distance dans le vide, la durée de ce parcours de 730 kilomètres étant de 2,4 millisecondes. En d'autres termes, sur une course de 730 kilomètres entre neutrinos et photons, les neutrinos gagneraient avec 20 mètres d'avance environ.

Ce résultat est ahurissant, car il va à l'encontre de tout ce que nous ont appris la physique expérimentale et la physique théorique depuis plus d'un siècle. En effet, la théorie de la relativité restreinte d'Einstein, née en 1905, fait apparaître la vitesse de la lumière dans le vide (un peu moins de 300 000 kilomètres par seconde) comme une constante absolue (indépendante de l'état de mouvement de l'observateur) et indépassable. Et depuis 1905, cette théorie a été confirmée dans ses différents aspects par d'innombrables expériences. Elle fait partie intégrante de tout l'édifice théorique de la physique fondamentale. Il est donc impossible de la contester à la légère ou sans proposer une alternative capable de rendre compte d'un siècle de résultats expérimentaux.

L'équipe des chercheurs d'OPERA, menée par Dario Autiero, physicien du CNRS à l'Institut de physique nucléaire de Lyon, a donc été prudente avant de rendre publics ses résultats. Ses données ont été recueillies sur les trois dernières années, ce qui représente plus de 16 000 neutrinos détec-

tés. Les physiciens ont fait et refait leurs calculs, mesuré par géodésie la distance parcourue par le faisceau de neutrinos à 20 centimètres près, déterminé la durée du parcours à moins de 15 nanosecondes près, etc.

Pour l'écart relatif $(v - c)/c$ de la vitesse v des neutrinos par rapport à celle (c) de la lumière, l'équipe d'OPERA obtient la valeur $(2,48 \pm 0,58) \times 10^{-5}$, ce qui correspond à une vitesse des neutrinos qui dépasse celle de la lumière d'environ six kilomètres par seconde.

Il s'agira maintenant, pour la communauté de la physique des hautes énergies, d'essayer de confirmer ou d'infirmer ce résultat par d'autres analyses ou d'autres expériences et, pour les théoriciens, d'essayer de voir comment une vitesse supérieure à la lumière pourrait être intégrée à une théorie cohérente. Les hypothèses pour faire rentrer les neutrinos dans le rang n'ont pas encore convaincu.

➔ Maurice Mashaal

T. Adam et al., prépublication
(<http://arxiv.org/abs/1109.4897>),
22 septembre 2011