

■ POUR LA

SCIENCE

Septembre 2016 - n° 467

www.pourlascience.fr

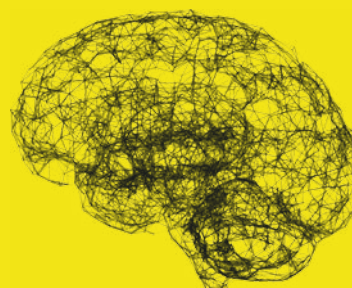
Édition française de Scientific American

Les MATHS de Grothendieck

L'héritage fertile d'un génie

NEUROBIOLOGIE

ALZHEIMER, PARKINSON
Quand le cerveau n'évacue
plus ses déchets



■ POUR LA
SCIENCE
www.pourlascience.fr

8 rue Férou - 75278 Paris Cedex 06

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, assisté d'Alice Mastracci et William Rowe-Pirra

Directrice artistique : Céline Lapert

Maquette : Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, assistés de Cassandra Vion

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 : Lydia Ben Ytzhak

Isabelle Bousquet-Maniguet, Maud Bruguère, Hélène Gélot,

Évelyne Host-Platret, Patrick Jagoret, François Lè,

Sylvain Nascimbène, Christophe Pichon, Bernard Schmitt,

Marc-André Selosse, Daniel Tacquenot, Mylène Weill

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr - 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

Directeur de la Publicité : Jean-François Guillotin

(jfguillotin@pourlascience.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

Pour la Science,

628 avenue du Grain d'Or, 41350 Vineuil

pourlasciencevpc@daudin.fr • Tél. : 02 18 54 12 64

DIFFUSION

Contact kiosques : À Juste Titres ; Benjamin Boutonnet

Tél. : 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.

Managing editor : Ricky Rusing. Senior editors : Mark Fischetti,

Seth Fletcher, Christine Gorman, Michael Moyer, Clara

Moskowitz, Gary Stix, Kate Wong. President : Dean Sanderson.

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 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

Le génie sans concession

Dans les années 1950 à 1970, en France, un mathématicien exceptionnellement brillant a impressionné tous ses confrères : Alexandre Grothendieck (qui tenait à ce qu'on l'appelle Alexander, mais l'usage en a décidé autrement). Déjà une légende de son vivant, ce personnage laisse, après son décès, en novembre 2014, à l'âge de 86 ans, un héritage considérable. Mathématique d'abord, par ses travaux qui ont révolutionné la géométrie algébrique – l'étude d'objets géométriques définis par des équations algébriques – et qui continuent de nourrir la recherche mathématique moderne. Schémas, sites, topos, tels sont quelques-uns des mots-clés de l'œuvre de Grothendieck, qui recouvrent des notions d'une grande généralité, donc puissantes et abstraites (voir pages 21 à 37).

Plusieurs dizaines de milliers de pages à éplucher

Grothendieck lui-même considérait son œuvre mathématique comme un grand chantier inachevé. Depuis son retrait brutal de la scène scientifique, en 1970, et jusqu'à la dernière période de sa vie, loin des hommes, il a écrit des dizaines de milliers de pages non publiées. Recèlent-elles des idées nouvelles et fécondes ? Ce sera aux mathématiciens d'en juger – à condition que les difficultés juridiques qui empêchent aujourd'hui l'accès à ces documents soient levées.

En dehors des mathématiques, les écrits de Grothendieck regorgent de réflexions sur lui-même, son passé tragique et intime, ses anciens collègues, le milieu scientifique, la créativité, la vie, le « Mal », etc. Le tout exprimé dans un style unique, à la fois fluide, foisonnant et ésotérique, qui peut forcer l'admiration ou, au contraire, faire douter de la santé mentale de l'auteur (voir pages 38 à 41). C'est aussi cela, l'héritage de Grothendieck : le témoignage et la quête de sens d'une personnalité hors du commun et sans concession, dont le génie mathématique s'est trop tôt isolé. ■

3 Édito

Actualités

- 6 Sclérose en plaques : un traitement en vue
- 7 Au moins deux origines à l'agriculture
- 8 Le réchauffement climatique change la couverture nuageuse
- 11 Première simulation quantique en physique des particules



- 12 Le puzzle des plaques tectoniques enfin compris

Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

Réflexions & débats

- 14 **Point de vue**
Il est important de savoir comment l'ignorance est produite
Mathias Girel
- 16 **Homo sapiens informaticus**
Informatique à l'école : en progrès, doit persévérer
Gilles Dowek



- 18 **Cabinet de curiosités sociologiques**
À petites structures, meilleurs résultats scolaires ? Méfiance !
Gérald Bronner

Ce numéro comporte un encart d'abonnement broché + un encart d'abonnement jeté en cahier intérieur sur la diffusion kiosque en France ainsi qu'un catalogue abonnements Rue des étudiants sur une sélection d'abonnés France DOM TOM.
En couverture : © Pour la Science

DOSSIER p. 21

Les MATHS de Grothendieck

22 Un génie des maths devenu ermite

Winfried Scharlau

Une jeunesse marquée par la guerre, la gloire scientifique, une fin de vie en solitaire et empreinte de mysticisme : tel était le destin fort singulier d'Alexandre Grothendieck, l'un des plus brillants mathématiciens du XX^e siècle.

30 Un héritage mathématique fertile

Jean Malgoire

Parmi les multiples concepts qu'Alexandre Grothendieck a inventés, celui de topos est sans aucun doute le plus puissant. Il est devenu un outil de base des mathématiciens.

38 Un écrivain en quête de vérité

Leila Schneps

Alexandre Grothendieck a laissé bien plus qu'une œuvre mathématique monumentale : une façon d'aborder le monde sans fard ni artifices, à commencer par ceux dont on se pare soi-même pour affronter la vie.

42 GÉNÉTIQUE Aux origines génétiques de l'obésité

Richard Johnson et Peter Andrews

Selon une hypothèse émise en 1962, un gène favorisant le stockage des graisses a aidé nos lointains ancêtres à traverser les périodes de disette et expliquerait la pandémie actuelle d'obésité et de diabète. Les chercheurs pensent avoir identifié ce « gène d'épargne ».

50 **COSMOLOGIE** **Le projet DES à la poursuite de l'énergie sombre**

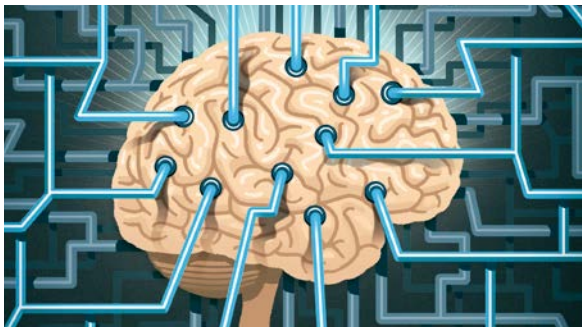
Joshua Frieman

Pourquoi l'expansion de l'Univers est-elle de plus en plus rapide ? Pour résoudre cette grande énigme de la cosmologie, les scientifiques plongent leur regard dans les confins du cosmos grâce à l'expérience *Dark Energy Survey*.

58 **NEUROBIOLOGIE** **Comment le cerveau évacue ses déchets**

Maiken Nedergaard et Steven Goldman

Comme tous les organes en activité, le cerveau produit des déchets et toxines dont il doit se débarrasser. Pour la première fois, des observations ont révélé comment ce nettoyage s'effectue.



64 **AGRONOMIE** **Soigner les terres agricoles d'Afrique**

John Reganold et Jerry Glover

Par des méthodes d'agroforesterie, en faisant pousser des arbres, des arbustes et d'autres plantes pérennes au sein de leurs cultures céréalières, des agriculteurs africains revitalisent leurs sols appauvris tout en augmentant les rendements.

70 **MICROBIOLOGIE** **Une bactérie pour lutter contre la dengue**

Scott O'Neill

Si l'on infecte des moustiques vecteurs de la dengue avec certaines bactéries, on bloque la réplication du virus en leur sein. En libérant ensuite ces insectes dans la nature, les chercheurs espèrent limiter fortement la propagation de la maladie.

Rendez-vous

78 **Logique & calcul**

Les arbres des mathématiciens sont-ils tous gracieux ?

Jean-Paul Delahaye

Un problème de graphes dont l'énoncé, simple, a été donné il y a cinquante ans résiste toujours.

84 **Science & fiction**

L'imaginaire à la carte

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 **Art & science**

Des fleurs incandescentes dans le ciel

Loïc Mangin



89 **Idées de physique**

Des fluides sens dessus dessous

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

92 **Question aux experts**

La France détient-elle une partie de l'Antarctique ?

Pierre Jouventin

94 **Science & gastronomie**

En bouche, le vin change

Hervé This

96 **À lire**

98 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

SCIENCE 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

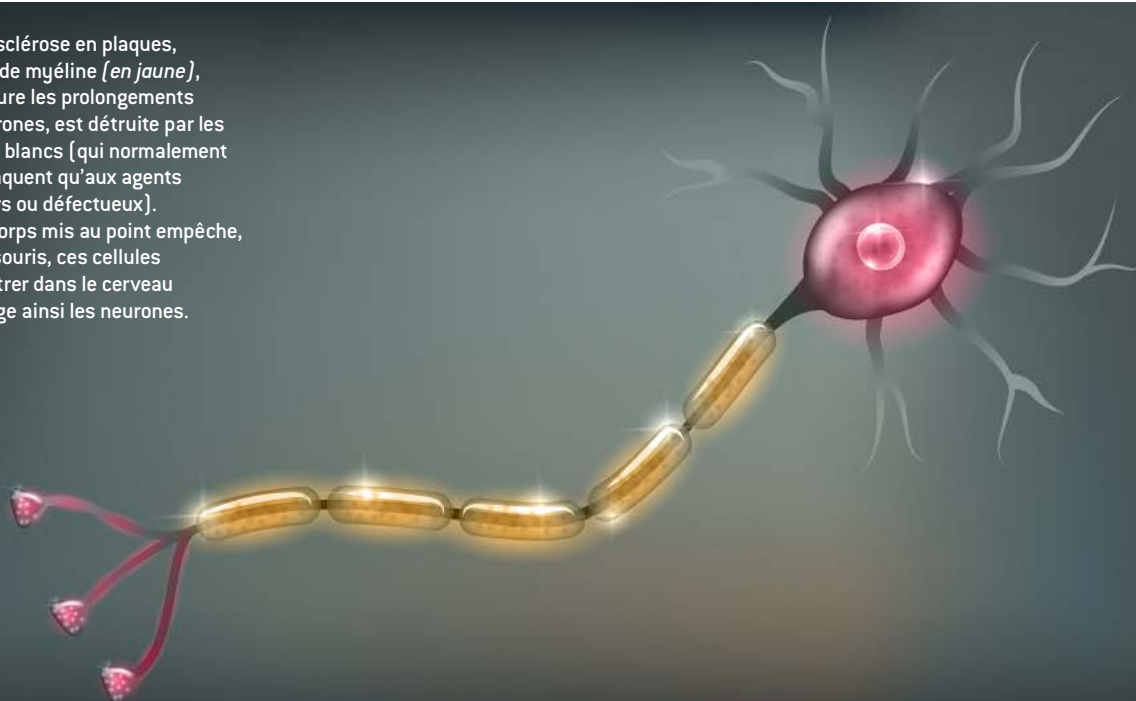
Actualités

Médecine

Sclérose en plaques : un traitement en vue

Une nouvelle cible thérapeutique de la sclérose en plaques vient d'être identifiée : la barrière hématoencéphalique qui isole le cerveau. Une molécule nommée Glunomab, qui rétablit son imperméabilité, stoppe l'évolution de la maladie chez les souris.

Dans la sclérose en plaques, la gaine de myéline (en jaune), qui entoure les prolongements des neurones, est détruite par les globules blancs (qui normalement ne s'attaquent qu'aux agents étrangers ou défectueux). Un anticorps mis au point empêche, chez la souris, ces cellules de pénétrer dans le cerveau et protège ainsi les neurones.



© Shutterstock.com/Tefi

Il y a six ans, Claire, alors âgée de 31 ans, se réveille avec une douleur à l'œil. Elle voit flou. Puis le trouble s'estompe. Mais quelques mois après, elle ressent des picotements dans les jambes et finit par consulter un médecin. Après quelques « crises » séparées de périodes d'accalmie, le diagnostic est clair : elle est atteinte de sclérose en plaques, plus précisément de la forme la plus fréquente où les symptômes apparaissent, puis disparaissent, avant de réapparaître ailleurs. Plus de 80 000 personnes sont concernées en France. C'est la première cause d'invalidité neurologique chez l'adulte jeune, la maladie se déclenchant entre 15 et 50 ans. Des traitements améliorent la vie des

patients, mais n'empêchent pas toujours l'évolution de la maladie. Le médicament qui sera peut-être développé suite aux résultats de Fabian Docagne, du centre Cyceyron à Caen, de Diego Clemente, de l'hôpital de Tolède, en Espagne, et de leurs collègues est prometteur : il bloque la progression de la maladie chez les souris.

La sclérose en plaques est une maladie auto-immune : le système de défense de l'organisme attaque des protéines dans le système nerveux central (cerveau et moelle épinière) comme s'il s'agissait de corps étrangers ou d'agents infectieux. Or ces protéines constituent la gaine de myéline qui entoure les prolongements des neurones et facilite normalement

la transmission des messages nerveux. Dans la maladie, les soldats immunitaires, les globules blancs, détruisent la myéline dans une zone du système nerveux, se retirent, puis réapparaissent des semaines, des mois, voire des années plus tard dans une autre. Les symptômes sont nombreux : engourdissements, douleurs, fourmillements, tremblements, maladresse, troubles de la vision... selon la région nerveuse ou cérébrale attaquée.

Mais pour s'en prendre à la gaine de myéline, les globules blancs doivent traverser un mur normalement quasi infranchissable séparant le sang du tissu nerveux : la « barrière hématoencéphalique », un réseau très

dense de cellules dites endothéliales, qui entoure les vaisseaux sanguins dans le système nerveux central. Sans que l'on sache pourquoi, dans la sclérose en plaques, sous l'effet de la réaction immunitaire, cette barrière devient perméable, ouvrant la voie aux globules blancs.

La plupart des médicaments actuels ciblent la réaction immunitaire en dehors du système nerveux. Mais les effets secondaires, notamment une diminution de la capacité à se défendre contre les virus, obligent souvent à l'arrêt des traitements.

Fabian Docagne et ses collègues se sont alors intéressés à la barrière hématoencéphalique. Bien qu'ils ignorent pourquoi cette