

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

PHYSIQUE
**LA PHILOSOPHIE
DU NOUVEAU
SYSTÈME D'UNITÉS**

MATHÉMATIQUES
**LE GRAPHE QUI
CONTIENT TOUS
LES GRAPHS**

ENVIRONNEMENT
**ÉCOLOGIQUES,
LES VÉHICULES
ÉLECTRIQUES ?**

NOVEMBRE 2018
N° 493



Dossier spécial

CE QUI DISTINGUE **SAPIENS** DES AUTRES ANIMAUX

- La culture, moteur de l'évolution humaine
- Des pensées emboîtées... et partagées
- Comment le langage s'est imposé
- Un cerveau hors catégorie



POUR LA
SCIENCE

www.pourlascience.fr

170 bis boulevard du Montparnasse - 75014 Paris
Tél. 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, Sean Bailly

Stagiaire: Lucas Streit

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe

Community manager: Jonathan Morin

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel,
Ingrid Leroy

Révisseuse: Anne-Rozenn Jouble

Marketing & diffusion: Arthur Peys

Chef de produit: Charline Buché

Direction du personnel: Olivia Le Prévoist

Direction financière: Cécile André

Fabrication: Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot

Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique: Hervé This

Ont également participé à ce numéro:

Antoine Browaeys, Damir Buskulic, Benjamin Dessus,

Hervé Douville, Chantal Ducoux, Romain Julliard,

Estefania de Mirandès, Xavier Müller, François Nez,

François Pellegrino, France Piétry-Rouxel, Bruno Sécordel

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne: <https://boutique.pourlascience.fr>

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél. 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

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres ; Stéphanie Troyard

Tél. 04 88 15 12 48

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Mariette DiChristina

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. », 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

© 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).

Origine du papier: Autriche

Taux de fibres recyclées: 30 %

«Eutrophisation» ou «Impact

sur l'eau»: P_{tot} 0,007 kg/tonne



Certifié PEFC

Ce produit est issu
de forêts gérées
durablement et de
sources
contrôlées.

10-31-1282

pefc-france.org

É
DITO



**MAURICE
MASHAAL**
Rédacteur
en chef

LES HUMAINS, UNE ESPÈCE BIEN SINGULIÈRE

Que les humains constituent une espèce appartenant au règne animal, plus personne ne peut le contester sérieusement aujourd'hui, même si l'idée continue de gêner certains. D'un autre côté, on ne peut guère nier le caractère exceptionnel de cette espèce: *Homo sapiens* a marqué de son empreinte l'ensemble de la planète grâce notamment à ses extraordinaires facultés cognitives, à son aptitude pour la communication, à son langage, à ses inventions matérielles et culturelles.

Peut-on trouver un dénominateur commun à toutes ces étonnantes capacités ou identifier des facteurs susceptibles d'expliquer leur apparition au fil de l'évolution? Ce questionnement scientifique rejoint les tentatives de maints penseurs qui, dans le passé, ont cherché à définir le «propre de l'homme». La science d'aujourd'hui apporte des réponses plus précises et mieux fondées. Même si la question reste matière à recherches et à débats, elle a suffisamment progressé pour que *Pour la Science* vous propose un dossier sur ce thème (voir pages 27 à 61) - où l'on apprendra en particulier que la culture apparaît de plus en plus comme centrale dans le développement des capacités cérébrales et cognitives des humains.

Ces aptitudes de notre espèce sont certes remarquables et admirables, mais il ne faudrait pas en tirer trop de fierté. N'oublions pas que le «propre de l'homme», tel qu'il apparaît dans l'histoire, présente aussi une face très sombre: massacres de toutes sortes et ampleurs, restrictions des libertés et exploitation d'autrui, délires collectifs de nature idéologique ou religieuse... Propre de l'homme, facteurs conjoncturels, facteurs structurels, autre chose? Peut-être la science réussira-t-elle un jour à démêler aussi cet écheveau, auquel cas l'humanité disposera, espère-t-on, de meilleures armes pour tenir à distance ses démons. ■

SOMMAIRE

N° 493 /
Novembre 2018



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



Inscrivez-vous
www.pourlascience.fr

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Synchroniser les neurones pour traiter la schizophrénie
- Transmuter les déchets nucléaires avec *Myrrha*
- Un jet « supraluminique » trahit la fusion d'étoiles à neutrons
- Twitter, miroir des communautés politiques
- Des réseaux 3D de bits quantiques
- L'audition à l'échelle des cellules
- CRISPR-Cas9 à l'assaut de la myopathie de Duchenne
- Les prix Nobel 2018

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

Heurs et malheurs
de la propriété privée
Gilles Dowek

P. 24

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES

Climat: pourquoi
tant d'inertie?

Gérald Bronner



En couverture :
© Tissen / shutterstock.com

Les portraits des contributeurs
sont de Seb Jarnot

GRANDS FORMATS



P. 52

ÉPISTÉMOLOGIE

VERS UN SYSTÈME D'UNITÉS VRAIMENT UNIVERSEL

Nadine de Courtenay

Le Système international d'unités a été inventé pour faciliter les échanges scientifiques et commerciaux. Sa construction, tout comme sa réforme imminente, vise à la fois à intégrer les connaissances scientifiques les plus avancées et à édifier un monde social commun.



P. 62

TECHNOLOGIE

LES VOITURES ÉLECTRIQUES SONT-ELLES ÉCOLOGIQUES ?

Christopher Schrader

On présente l'adoption des voitures électriques comme une étape décisive de la transition énergétique. Mais un long chemin reste à parcourir avant que ces véhicules soient vraiment moins polluants que les voitures classiques.



P. 72

HISTOIRE DES SCIENCES

L'EAU, LE GÉOLOGUE ET LA GRANDE GUERRE

Franck Hanot et Frédéric Simien

Abreuver un million de chevaux à raison de 15 à 60 litres par jour et par animal, protéger de la boue les myriades d'hommes terrés dans les tranchées... Tels étaient les défis des géologues, acteurs méconnus de la guerre de 14-18.



P.28 Anthropologie
LA CULTURE, MOTEUR DE L'ÉVOLUTION HUMAINE

Kevin Laland

Si notre espèce brille par son intelligence et sa créativité, c'est parce que nous sommes avant tout des animaux sociaux. Langage, empathie, enseignement...: ces éléments qui facilitent les interactions sociales et le partage des connaissances auraient été autant de clés au succès évolutif d'*Homo sapiens*.

P.36 Psychologie
DES PENSÉES EMBOÎTÉES... ET PARTAGÉES

Thomas Suddendorf

Notre capacité à imaginer des scénarios emboîtés à la façon de poupées russes, et le besoin impérieux de partager nos pensées: voilà, selon Thomas Suddendorf, ce qui nous distinguerait des animaux sur le plan mental. Et qui expliquerait notre faculté à anticiper les situations futures.

P.42 Linguistique
COMMENT LE LANGAGE S'EST IMPOSÉ

Christine Kenneally

Parmi les formes de communication rencontrées dans le monde animal, le langage humain fait figure d'exception. Comment a-t-il émergé? Les particularités biologiques et cognitives des humains ne sont pas seules en jeu: de plus en plus, les scientifiques soulignent le rôle décisif qu'a joué la culture.

P.48 Neurobiologie
UN CERVEAU HORS CATÉGORIE

Chet C. Sherwood

Un encéphale particulièrement gros, un cortex particulièrement plissé, des connexions neuronales particulièrement nombreuses... Le cerveau humain est singulier dans le monde animal.

RENDEZ-VOUS

P.78
LOGIQUE & CALCUL

UN GRAPHE UNIVERSEL ET SINGULIER

Jean-Paul Delahaye

Qu'un seul nombre puisse contenir, dans ses décimales, tous les autres est déjà un fait étrange et troublant. Mais le monde des graphes présente une situation analogue encore plus surprenante, qui frôle le paradoxe.

P.84
IDÉES DE PHYSIQUE
Des nanobulles magnétiques pour l'informatique de demain

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



P.88
SCIENCE & FICTION
Quand les arthropodes attaquent

Roland Lehoucq et J.-Sébastien Steyer

P.92
CHRONIQUES DE L'ÉVOLUTION
Comment l'éléphant trompe le cancer

Hervé Le Guyader

P.94
SCIENCE & GASTRONOMIE
De la lecture à dévorer

Hervé This

P.96
À RETENIR

A

CTUALITÉS

P. 6 Échos des labos

P. 18 Livres du mois

P. 20 Agenda

P. 22 Homo sapiens informaticus

P. 24 Cabinet de curiosités
sociologiques

SYNCHRONISER LES NEURONES POUR TRAITER LA SCHIZOPHRÉNIE



Des chercheurs ont mis en évidence une désynchronisation des neurones dans l'hippocampe de souris « schizophrènes ». En rétablissant la coordination de ces neurones, ils ont réussi à supprimer certains symptômes affectant les rongeurs.

Chaque personne atteinte de schizophrénie est unique, mais toutes présentent différents symptômes handicapants au quotidien. Or les traitements actuels, des antipsychotiques, ne sont efficaces que pour une partie des patients. Mieux traiter cette pathologie exige de mieux la comprendre. Thomas Marissal, de l'université de Genève, et ses collègues viennent de franchir un pas dans ce sens: ils ont mis en évidence une désynchronisation des neurones chez des souris atteintes d'une forme de

schizophrénie, et l'ont même corrigée, les rongeurs ne présentant alors plus certains symptômes de la maladie.

Trois types de symptômes caractérisent la pathologie: des délires et hallucinations visuelles ou auditives, un repliement sur soi, et des symptômes cognitifs – déficit de l'attention, hyperactivité, troubles de la mémoire et de la pensée, ainsi que difficultés à entretenir une conversation logique et cohérente. De sorte que la plupart des personnes schizophrènes, environ 1% de la population, voient leurs aptitudes intellectuelles diminuer au moment où les symptômes

apparaissent, en général à l'entrée dans l'âge adulte. Car les troubles de la mémoire et de l'attention avec hyperactivité sont tout aussi invalidants que les délires ou hallucinations.

Les neurobiologistes cherchent à comprendre comment la schizophrénie apparaît et s'installe, sachant que c'est un trouble neurodéveloppemental qui se met en place progressivement et qui dépend de facteurs à la fois génétiques et environnementaux. Toutefois, les scientifiques sont persuadés que, chez les personnes schizophrènes, toutes les aires cérébrales sont perturbées, tant les symptômes sont étendus et variés.

C'est pourquoi Thomas Marissal et ses collègues se sont intéressés à l'hippocampe de souris modèles de la schizophrénie. Ces dernières ont été « créées » en inactivant des gènes dont on sait que l'absence chez l'humain provoque un

syndrome de Di George: les personnes atteintes de ce syndrome (caractérisé par une immunodéficience primaire et diverses malformations) ont un risque de développer des troubles schizophréniques quarante fois supérieur à celui de la population générale. Ainsi, ces souris modèles présentent par exemple une hyperactivité et un déficit de mémoire, deux symptômes cognitifs de la maladie.

En examinant de plus près leur hippocampe, structure cérébrale impliquée justement dans la mémoire, les chercheurs ont constaté que les neurones de la couche notée CA1 sont désynchronisés: ils présentent le même niveau d'activité électrique que les neurones de souris normales, mais ils ne sont plus coordonnés entre eux, comme si les cellules ne communiquaient plus très bien les unes avec les autres. Et ce, parce qu'une population minoritaire d'autres neurones dans cette région de l'hippocampe, les interneurons inhibiteurs à parvalbumine, n'est plus suffisamment active. Alan Carleton, qui a dirigé cette étude, explique: «Sans cette inhibition correcte qui contrôle et structure l'activité électrique des autres neurones du réseau dans l'hippocampe, l'anarchie règne en maître.»

Ensuite, sur des tranches d'hippocampe de ces souris, *in vitro*, et grâce à des traitements pharmacologiques et des manipulations génétiques, les chercheurs ont rétabli l'activité des neurones inhibiteurs: les réseaux de neurones de la couche CA1 se sont immédiatement resynchronisés. Et quand ils ont injecté les mêmes molécules chez des souris éveillées, ces dernières ont cessé de présenter certains symptômes typiques de la schizophrénie, comme l'hyperactivité, probablement à cause d'une resynchronisation de leurs neurones.

Thomas Marissal et ses collègues sont optimistes: ils vont vérifier que la désynchronisation existe dans d'autres régions cérébrales et dans d'autres modèles animaux de la schizophrénie, voire chez l'homme, et tenter de la corriger de la même manière. Car ils pensent qu'une thérapie pharmacologique ou des manipulations génétiques ciblant les neurones inhibiteurs du même type que ceux à parvalbumine pourraient représenter un nouveau traitement de la schizophrénie dans les années à venir. ■

BÉNÉDICTE SALTHUN-LASSALLE

T. Marissal et al., *Nature Neuroscience*, en ligne le 17 septembre 2018

PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Transmuter les déchets nucléaires avec Myrrha

En Belgique, le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (CEN) développe une grande installation qui permettra notamment d'expérimenter la faisabilité d'une filière de réacteurs de quatrième génération et la transmutation des déchets nucléaires. Les explications du directeur du projet.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

HAMID AÏT ABDERRAHIM, physicien des réacteurs, dirige le projet Myrrha.

Qu'est-ce que le projet Myrrha ?

Comme l'indique cet acronyme pour l'anglais *Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications*, Myrrha est un réacteur nucléaire de recherche hybride visant des applications relatives à la médecine nucléaire, aux matériaux utilisés dans les réacteurs à fission et à fusion, et à la transmutation des déchets nucléaires.

Pourquoi « hybride » ?

Parce qu'il couplera un accélérateur de protons à hautes énergies et intensité (dont la construction, d'ici à 2024, est la première phase du projet) à un réacteur nucléaire sous-critique, c'est-à-dire dont le cœur contient trop peu de combustible pour que la réaction en chaîne s'autoentretienne. Pour maintenir en fonctionnement un tel réacteur, il faut des réactions de fission supplémentaires, que l'on obtient en créant des neutrons à l'aide du faisceau de protons. Comme le réacteur est contrôlé par l'accélérateur, il est très sûr : si l'on coupe le faisceau, la réaction s'éteint en une microseconde.

Mettre au point un tel réacteur fait partie de vos objectifs ?

Oui ! Ce type de réacteur à neutrons rapides représente l'une des six filières envisagées pour la quatrième génération. Notre but est de tester son fonctionnement à l'échelle semi-industrielle. Pour le refroidir, nous y ferons circuler un mélange plomb-bismuth, qui est liquide à 123 °C. Cela se traduira, dans le circuit de refroidissement, par des températures relativement basses, donc faciles à gérer. Le plomb-bismuth a cependant l'inconvénient de corroder l'acier des canalisations, mais on sait réduire ces effets en introduisant un peu d'oxygène dans le circuit, de façon à en passer les parois par des couches d'oxyde de fer et de chrome.

Et en quoi peut-il servir à transmuter les déchets nucléaires ?

Le temps de séjour moyen des barres d'uranium dans les réacteurs à eau pressurisée actuels est de 4,5 ans. Au bout de cette période, une tonne de combustible s'est muée en 56,6 kilogrammes (kg) de produits de fission, 12 kg de plutonium, 1 kg de neptunium, 0,8 kg d'américium, 0,6 kg de curium, et il reste 930 kg d'uranium. Si l'on peut en partie réutiliser dans du combustible reconditionné le plutonium, qui est hautement toxique et radioactif, les autres actinides mineurs (le neptunium, l'américium et le curium) sont aujourd'hui laissés dans la soupe issue des opérations de séparation. Une fois vitrifiés, on les stocke sous terre, où il faudra entre 300 000 ans et 1 million d'années pour que leur radiotoxicité redescende au niveau de celle de l'uranium. D'où l'intérêt de les transmuter en espèces beaucoup moins radiotoxiques. C'est possible dans un réacteur tel celui de Myrrha, dont le principe permet de « brûler » des barres de combustible contenant jusqu'à 50 % d'actinides mineurs. Nous avons estimé que 40 ans suffiraient pour transmuter tous les déchets nucléaires qu'a produits l'Allemagne, de sorte que leur radiotoxicité redescendrait au niveau de celle de l'uranium en 300 ans seulement.

Qui finance le projet ?

Ses trois phases successives devraient demander de l'ordre de 1,6 milliard d'euros. Or dans le cadre de son programme ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*), la Commission européenne a reconnu Myrrha comme une grande infrastructure d'intérêt paneuropéen. Après que le gouvernement belge a déjà dépensé 200 millions d'euros pour lancer les études, il vient d'en débloquer 558 millions supplémentaires pour réaliser la première phase. Sur cette base, nous cherchons à intéresser de nombreux partenaires, à commencer par les grands pays que sont la France, l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni et le Japon. ■