

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

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel,

Ingrid Leroy

Revisseuse: Anne-Rozenn Jouble

Marketing & diffusion: Arthur Peys

Direction du personnel: Olivia Le Prévost

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:

Thomas Badr, Serge Berthier, Maud Bruguère, Fanny Brun,
Thierry Champel, Adrien Coffinet, François-Xavier Coudert,
Mathias Fink, Julien Gaillard, Hélène Gélot, Adrien Gilbert,
Capucine Jahan, Renaud Le Gac, Maude Le Gall,
Claire Levallois-Barth, Virginie Monvoisin, Joseph Moran,
Christophe Pichon, Marie-France Sagot

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: <http://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 ; Benjamin Boutonnet

Tél. 04 88 15 12 41

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

EUCLIDE, LE TRANSISTOR ET LE BITCOIN

Vers 300 avant notre ère, un certain Euclide d'Alexandrie a compilé une bonne partie du savoir mathématique de son époque en un ouvrage ayant traversé les âges, *Les Éléments*. Dans cette somme, célèbre à la fois par son contenu et par son style de présentation en axiomes suivis de théorèmes et de leurs démonstrations, on trouve notamment la preuve qu'il existe une infinité de nombres premiers – ces entiers qui ne sont divisibles que par 1 et par eux-mêmes. C'étaient les premiers rudiments de la théorie des nombres: un domaine des mathématiques devenu, depuis le XIX^e siècle, l'une des disciplines scientifiques les plus abstraites.

En 1947, dans le cadre de recherches fondamentales sur les matériaux semi-conducteurs, les physiciens américains William Shockley, John Bardeen et Walter Brattain inventaient le transistor. Ce composant électronique, qui leur a valu le prix Nobel de physique en 1956, est au fondement de l'essor de l'électronique et des ordinateurs, essor auquel nous devons la révolution numérique actuelle.

Pourquoi évoquer la théorie des nombres et les transistors alors que *Pour la Science* consacre la une de ce numéro aux cryptomonnaies et aux blockchains (voir pages 27 à 47)? Pour rappeler que ces dernières inventions leur sont fortement redevables: aux transistors pour l'infrastructure informatique et électronique, à la théorie des nombres pour les protocoles cryptographiques indispensables au fonctionnement et à la sécurité de ces systèmes.

La morale n'est pas très originale: des recherches scientifiques fondamentales, de pure curiosité, conduisent parfois à des développements technologiques qui ont le pouvoir de transformer profondément la société. Les historiens et les scientifiques le savent bien; ce savoir est hélas moins bien partagé chez les politiques.

SOMMAIRE

N° 485 /
Mars 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

- *Homo sapiens* est arrivé au Levant bien avant les Néandertaliens
- Des primates clonés pour la première fois
- L'effet Hall quantique... en dimension 4!
- Le génome géant de l'axolotl séquencé
- Des plumes supernoires
- La plus ancienne tombe scythe
- Des séquences d'ADN pas si inutiles
- Théia, un poids plume
- L'œil du cyclone a ses critères

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 20

AGENDA

P. 22

HOMO SAPIENS INFORMATICS

Pourquoi le monde est imprédictible

Gilles Dowek

P. 24

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES

Capter à tout prix du temps de cerveau

Gérald Bronner



En couverture :
© Mmaxer/shutterstock.com

Les portraits des contributeurs sont de Seb Jarnot

GRANDS FORMATS



P. 48

MÉDECINE

UN SCALPEL CONTRE LE DIABÈTE

Francesco Rubino

La chirurgie bariatrique, qui court-circuite certaines parties du tube digestif, se révèle plus efficace contre le diabète de type 2 que les traitements classiques.



P. 56

PORTFOLIO

ÉPHÉMÈRES DELTAS DE LAVE

Michel Detay et Pierre Thomas

Le 31 décembre 2016, à Hawaï, un delta formé en quelques années par des coulées de lave s'est effondré dans l'océan. Comment naît et meurt une telle plateforme, créée par le brusque refroidissement de la lave à son arrivée au contact de l'eau de mer? La réponse en images.



P. 64

PHYSIQUE DES PARTICULES

BEAUTÉ HORS-NORME AU LHC

Guy Wilkinson

Malgré ses succès, le modèle standard de la physique des particules est incomplet. Au Cern, l'expérience LHCb, qui étudie les désintégrations des «particules de beauté», a-t-elle fourni les premiers indices d'une théorie plus fondamentale?

Au centre du numéro

CAHIER SPÉCIAL

L'HYDROGÈNE, ACCÉLÉRATEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

En partenariat avec





P.74

HISTOIRE DES SCIENCES

LE TÉLESCOPE OUBLIÉ DE CHARLES FÉRY

Guillaume Durey, André Pierre Legrand et Denis Beaudouin

Un télescope récemment retrouvé dans les greniers de l'ESPCI, une école d'ingénieurs à Paris, s'est révélé un acteur clé, au début du xx^e siècle, d'une aventure qui occupait les savants depuis plusieurs siècles: la mesure de la température du Soleil.



P.27

ÉCONOMIE

BITCOIN ET BLOCKCHAIN

Comment les cryptomonnaies changent le monde



P. 28

LE NOUVEAU MONDE DES CRYPTOMONNAIES ET DES BLOCKCHAINS

John Pavlus

Les cryptomonnaies, telles que le bitcoin, et les blockchains qui les rendent possibles modifient le paysage financier et économique. Comment, et jusqu'où?

P.36

FAIRE SAUTER LA BANQUE AVEC DES CRYPTOMONNAIES

Alexander Lipton et Alex «Sandy» Pentland

Les monnaies numériques fondées sur la technologie des blockchains préfigurent peut-être de nouveaux réseaux financiers qui mettront un terme à la concentration des richesses et qui stimuleront l'économie.

P.44

LA BLOCKCHAIN, INSTRUMENT DE CONFIANCE?

Natalie Smolenski

La blockchain est un outil informatique qui instaure une confiance au sein du réseau qui l'utilise. Quel en sera l'impact social ultime? Tout dépendra de la façon dont nos identités numériques et nos données personnelles seront gérées.

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

L'ALGORITHME DES COQUILLAGES

Jean-Paul Delahaye

Pour les mollusques, s'enrouler en spirale afin de construire un abri permanent se fait de multiples façons. Toutes sont des variantes d'un procédé général qu'on s'efforce de reproduire.

P.86

ART & SCIENCE

Le monde dans un savon

Loïc Mangin

P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

Courons sous la pluie!

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



P.92

CHRONIQUES DE L'ÉVOLUTION

Le bizarre sonar du cachalot

Hervé Le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Combinatoire sur pâtes

Hervé This

P.98

À PICORER

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

PRÉHISTOIRE

HOMO SAPIENS EST ARRIVÉ AU LEVANT BIEN AVANT LES NÉANDERTALIENS



Le demi-maxillaire gauche trouvé, nommé Misliya-1. Toutes les dents sont présentes, à l'exception d'une incisive.

La découverte en Israël d'un demi-maxillaire d'*Homo sapiens* datant d'environ 200 000 ans prouve que l'homme moderne est sorti d'Afrique bien plus tôt qu'on ne le pensait.

La partie supérieure du carré 9 de l'unité stratigraphique 6 de la grotte de Misliya, sur le mont Carmel, en Israël, vient de montrer qu'*Homo sapiens* a quitté l'Afrique bien plus tôt qu'on ne le croyait: il y a probablement bien plus de 200 000 ans! Cette découverte change radicalement le consensus entre préhistoriens. Encore récemment, *H. sapiens* était censé avoir quitté l'Afrique pour le Levant une première fois il y a quelque 100 000 ans, y être retourné sous la pression des Néandertaliens, puis être revenu en Eurasie il y a 80 000-60 000 ans

pour bousculer son cousin néandertalien et conquérir le reste du globe.

La preuve de la présence d'*H. sapiens* au Levant il y a quelque 200 000 ans est Misliya-1, nom donné à un très ancien demi-maxillaire *sapiens* mis au jour et étudié par une équipe internationale dirigée par Mima Weinstein-Evron, de l'université de Haïfa (cliché ci-dessus). Pour le dater, trois laboratoires ont appliqué à divers artefacts et aux matières composant une dent plusieurs techniques de datation: résonance de spin électronique, thermoluminescence et radiochronologie. Compte tenu de la dizaine de dates

obtenues, Misliya-1 aurait un âge compris entre 177 000 et 194 000 ans.

Afin de prouver qu'il s'agit bien d'un maxillaire d'*H. sapiens*, les chercheurs se sont livrés à une étude morphométrique, c'est-à-dire qu'ils ont mesuré tous les détails visibles de la forme du maxillaire et des dents afin de les comparer à ceux des formes archaïques d'*H. sapiens* et d'autres espèces humaines.

Un point essentiel est le fait que toutes les unités stratigraphiques de la grotte de Misliya, y compris l'unité 6, sont mêlées d'artefacts relevant de ce que les chercheurs nomment le Moustérien levantin précoce, une industrie lithique caractérisée par un débitage dit Levallois (notamment avec des éclats triangulaires pouvant servir de pointe). Or ce type de Moustérien est traditionnellement

associé en Eurasie aux Néandertaliens, dont il constitue un marqueur. Comme la strate où a été trouvé Misliya-1 est bien antérieure à l'arrivée des Néandertaliens au Proche-Orient, les chercheurs avancent que l'apparition du débitage Levallois en Eurasie pourrait être « associée à l'apparition des *H. sapiens* » au Levant. Il s'agit là d'une évolution notable du point de vue des paléanthropologues sur le Moustérien.

La sortie d'Afrique précoce de certains *Homo sapiens* archaïques suggérée par Misliya-1 a aussi l'avantage de régler plusieurs difficultés posées par l'hypothèse d'une expansion d'*H. sapiens* en Eurasie ayant démarré il y a seulement 80 000 ans : la présence d'*H. sapiens* dans le sud de la Chine il y a plus de 100 000 ans et le fait que les Néandertaliens de l'Altai sibérien étaient déjà métissés avec des *H. sapiens* il y a 100 000 ans.

Cela rejoint une idée déjà proposée. Il existe au Levant une culture matérielle qui semble intermédiaire entre l'Acheuléen (l'industrie lithique caractéristique du Paléolithique inférieur) et l'industrie moustérienne : la culture acheuléo-yabroudienne, qui a prospéré il y a entre 350 000 et 200 000 ans. Or un crâne partiel fossile découvert dans les années 1920 sur le site de Mugharet el-Zuttiyeh, en Galilée, en relève. Ce crâne, celui de l'« Homme de Galilée », est d'abord passé pour celui d'un Néandertalien. Toutefois, dans les années 1980, après avoir réétudié tous les fossiles du Levant, le paléoanthropologue français Bernard Vandermeersch avait souligné son impression, partagée par nombre de collègues, que le crâne en question, quoique archaïque, était de type *sapiens*.

Avec d'autres observations, notamment le fait qu'on ne connaissait au Levant aucun fossile néandertalien d'âge comparable à celui de l'homme de Galilée, Bernard Vandermeersch en avait déduit qu'une très ancienne population d'*H. sapiens* archaïques s'était établie au Proche-Orient bien avant 130 000 ans – époque à partir de laquelle un réchauffement du climat a attiré au Proche-Orient une population néandertalienne allochtone. Celle-ci s'est ensuite mélangée avec les habitants *sapiens* du Proche-Orient, donnant lieu aux premiers métissages d'*H. sapiens* et d'*H. neanderthalensis*. ■

FRANÇOIS SAVATIER

I. Herskovitz et al.,
Nature, vol. 359, pp. 456-459, 2018

Des primates clonés pour la première fois

Le 8 février 2018, une équipe chinoise de l'Institut de neuroscience à Shanghai a annoncé avoir cloné des macaques crabiers (*Macaca fascicularis*). C'est la première fois que le clonage porte sur des primates, et la question éthique est de nouveau posée. Éclairage par le biologiste et philosophe Georges Chapouthier.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

GEORGES CHAPOUTHIER,
neurobiologiste et
directeur de recherche
émérite au CNRS

Comment les chercheurs chinois ont-ils procédé pour cloner des macaques ?

Qiang Sun et ses collègues ont procédé par « transfert de noyau de cellules somatiques », c'est-à-dire qu'ils ont remplacé les noyaux d'ovocytes de macaque crabier soit par des noyaux de cellules de macaques adultes, soit par des noyaux de cellules fœtales différenciées – des fibroblastes. Ils ont ensuite créé un environnement chimique favorable au développement des germes représentés par ces ovocytes modifiés. De précédents travaux leur ont inspiré une recette favorisant la reprogrammation de ces cellules. Sur un total de 417 essais, cette recette a conduit à la mise au monde, par une mère porteuse, de deux bébés macaques, issus d'ovocytes à noyaux de fibroblaste...

Depuis Dolly, la brebis clonée en 2007, quel est le bilan du clonage reproductif ?

Pour le moment, assez maigre. Avant ce clonage de macaques, 23 espèces de mammifères ont été clonées, avec le même manque d'efficacité : le mouton avec Dolly, la vache, le chien, la souris, etc. Avec le recul, on constate que les techniques de clonage restent très inefficaces, et les travaux chinois l'illustrent bien. Par ailleurs, les animaux nés semblent vieillir prématurément et en mauvaise santé. Dolly n'a vécu que sept ans au lieu de douze, typiquement, pour un mouton ; et les souris clonées sont obèses... Enfin, on parvient très difficilement à cloner des mâles.

Le clonage est-il malgré tout utile ?

Peu. On peut citer le cas de ce propriétaire de chat tout heureux d'avoir obtenu une copie de son animal ! Ou encore la tentative de clonage presque réussie – presque, car le bébé cloné est

mort d'infection au bout de 48 heures – d'un gaur, une espèce menacée de bovidé sauvage d'Asie du Sud-Est.

Pourquoi alors cloner des primates ?

Les auteurs disent ouvrir la voie vers l'utilisation, en recherche fondamentale ou appliquée, de primates modèles génétiquement uniformes. Selon eux, ces animaux seront utiles dans l'étude par édition génomique (dans la pratique, on modifierait les gènes des fibroblastes avant le transfert de leur noyau) de certaines maladies spécifiques aux primates qu'ils qualifient de « maladies à défauts génétiques définis ». Tout cela reste vague, comme l'intérêt pratique du clonage reproductif, non seulement parce qu'il est très peu efficace, mais aussi parce que l'uniformité génétique qu'il produit est discutable. Il ne faut pas oublier qu'il faut des ovocytes pour produire des clones ; or leur cytoplasme (tout ce que contient la membrane cellulaire, hors le noyau) a une influence sur l'individu produit, notamment via l'ADN des mitochondries. Et la mère porteuse exerce aussi une influence épigénétique sur l'embryon. En comparaison, les lignées expérimentales de souris ou autres obtenues par croisements entre frères et sœurs ont des gènes rigoureusement identiques et ont connu des influences épigénétiques très proches. Mais la recherche continue et les techniques de clonage finiront par s'améliorer...

Ce qui augmentera le risque que des humains soient un jour clonés ?

Oui, toutefois un tel clonage ne sera pas le fait de chercheurs institutionnels, mais de quelque savant dévoyé au service d'une secte, voire d'un entrepreneur cherchant à proposer une nouvelle façon de se reproduire. De toute façon, même efficace, le clonage reproductif produira une vie peu robuste et moins diverse, donc très problématique quant à la perpétuation de l'espèce, qu'il s'agisse d'humains ou d'animaux.

Z. Liu et al., *Cell*, vol. 172, pp. 1-7, 2018