

ET SI LE BIG BANG
N'ÉTAIT PAS LE DÉBUT

L'AGRICULTURE RETOURNÉ
AUX FRUITS D'ORIGINE !

POURQUOI NOUS SOMMES
OBSÉDÉS PAR NOS RACINES

Y A-T-IL UN CONCEPT
MATHÉMATIQUE
À L'ORIGINE DE TOUT ?

ORIGINES

ORIGINES



LA CHINE RÉÉCRIT
LA NAISSANCE DE SAPIENS

LE DOSSIER SOURCE !

LA PREMIÈRE PLANÈTE, LE PREMIER CRI,
LA PREMIÈRE FLEUR, LE PREMIER RÊVE,
LA PREMIÈRE DROGUE, LE PREMIER POIL,
LA PREMIÈRE IDOLE, LE PREMIER TROU NOIR...

BELUX: 7,20 € - CH: 11,10 FS - D: 9,40 € - ESP: 11,-
GR-FORT-COIN: 7,30 € - DOM/S: 7,30 € - MAR:
77 MAD - TUN: 14,50 TND - CAN: 10,99 \$ cad CPPAP

L 14332 - 5 H - F: 6,90 € - RD





C'ÉTAIT COMMENT À L'ORIGINE ?

Ce qu'en disent les mythes de 100 peuples du monde

30

LE MIRAGE DES ORIGINES

Le big bang n'est pas le début !

32

L'OBSESSION DES ORIGINES

Plus qu'un phénomène de mode, une question existentielle

42

RETOUR AUX ORIGINES

À la recherche des fruits archaïques

48

LE BERCEAU DES ORIGINES

C'est ici que tout a commencé

56

BLOCKCHAIN, ORIGINE GARANTIE !

Enquête sur la techno qui devait changer le monde

70

LA BATAILLE DES ORIGINES

La Chine réécrit l'histoire de *Sapiens*

76

LE CONCEPT À L'ORIGINE

Y a-t-il un objet mathématique fondamental ?

86

PORTRAITS DE L'ORIGINE

Unique, insaisissable, révélée... tentatives de définition

94

LES PETITS CHIFFRES DE L'ORIGINE

Saturne, peste, Molière, Wow!, ADN...

96

ABÉCÉDAIRE

Quelques mots pour bien en parler

98



**COMMENCEZ
AU COMMENCEMENT**



Le Roi, dans Alice au pays des Merveilles (1865)

SHUTTERSTOCK



ÉDITO

Futur, amour, infini, aliens... Lorsque nous choisissons un mot à déployer tous azimuts sur 100 pages, c'est que nous le sentons traversé de tensions scientifiques modernes – comme *Epsilon*, notre hors-série se veut un magazine d'actualité scientifique.

D'accord, le mot « origines » résonne comme une vieille obsession qui planait déjà au-dessus des premiers feux de nos lointains ancêtres. Et qu'est-ce que la science si ce n'est une inlassable volonté de comprendre d'où vient l'Univers, les étoiles, la Terre, la vie, de remonter à la source de tous les phénomènes qui nous entourent? Mais justement, en cosmologie, en biologie, en mathématiques, en paléontologie, et même en technologie, la question est au-

jourd'hui renouvelée – et autant l'avouer, elle n'est pas près d'être épuisée. Il s'est passé quoi au début? Plongez dans les nouveaux tourbillons de la quête de nos origines.

PIERRE-YVES BOCQUET
RÉDACTEUR EN CHEF DÉLÉGUÉ

IL ÉTAIT UNE FOIS

ABONNEZ-VOUS À **epsilon** ET NE MANQUEZ AUCUN NUMÉRO epsilonon.com

epsilon Pour écrire à la rédaction: epsilonon@uniqueheritage.fr

La rédaction

Pierre-Yves Bocquet (rédaction en chef délégué), Yvonne Diraison, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Hervé Poirier (rédaction en chef), Muriel Valin (adjointe), Anne Riera (édition), Léa Desrayaud (infographie)

Avec: Xavier Boivinot, Sylvie Burnouf, Simon Devos, Roman Ikonicoff, Clémentine Laurens, Pierre Martin, Emmanuel Mounier, Emmanuelle Picaut, Alexandra Pihen, Jean-Baptiste Voyrieras (rédaction), Stéphane Aubin (icono), Hélène Colau, Bruno Levesque (édition), Valérie Samuel (maquette)

SERVICE CLIENT et ABONNEMENT (+33) 01 87 64 09 62

Appelez-nous pour vous abonner ou pour toute réclamation/modification
Mail: abo.epsilon@uniqueheritage.fr

Courrier: CDN Vivetic - Epsilon - 127 Rue Charles Tillon - CS 80021 93308 Aubervilliers Cedex
Toutes nos offres: boutique.epsilonon.com
Abonnement annuel: 56€ (12 n°) ou 76,90€ (12 n° + 4 hors-séries)

Ventes au numéro (réservé dépositaires et marchands de journaux): Isabelle Alliaume, diffusionmdj@uniqueheritage.fr, (+33) 01 56 79 36 94. Distribution: MLP

Abonnements: Thibaud Moussion, Vanessa Gressier (relations abonnés): abo.epsilon@uniqueheritage.fr

Publicité: La Compagnie Media: virginie.hoang@lacompagniemedia.fr, 06 61 11 15 63, et Martine Beria, 06 07 57 17 08

Fabrication: Créatoprint, 06 71 72 43 16

Impression: Imaye (53)
Origine du papier: Finlande
Taux de fibres recyclées: 0%

Certification: PEFC
Ptot: 0,002 kg/t
Origine du papier: Autriche
Taux de fibres recyclées: 33%
Certification: PEFC
Eutrophisation: Ptot = 0,007 kg/t

Epsilon est édité par It Is Not Rocket Science, SAS, 141, Bd. Ney, 75018 Paris

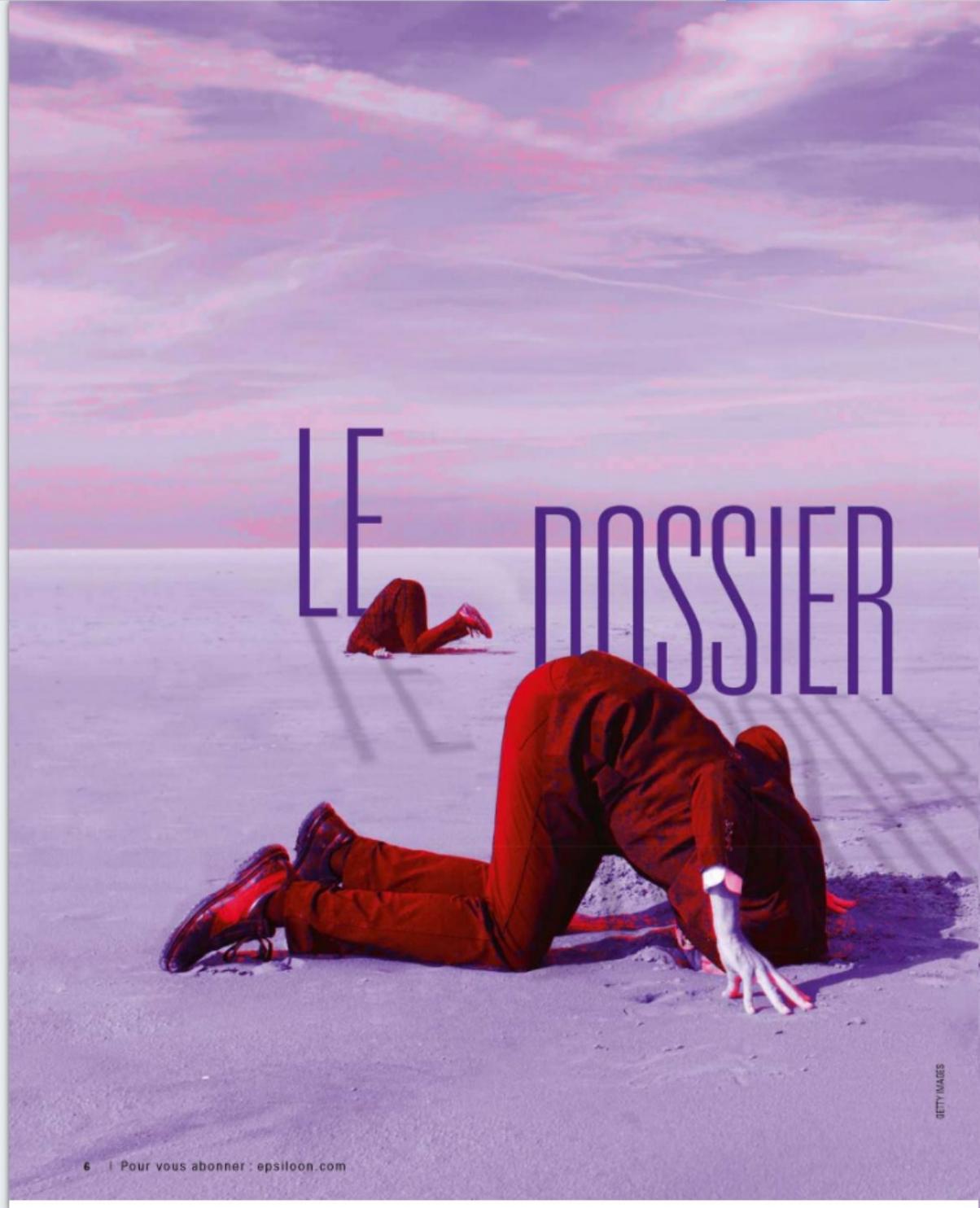
Actionnaire: Unique Heritage Media

Président et directeur de la publication: Emmanuel Mounier

Éditrice: Sibylle de Faucamberg
N° ISSN: 2890-4736
Commission paritaire: 0723K9462
Dépôt légal: à parution



Une publication du groupe
**UNIQUE
HERITAGE
MEDIA**



LE DOSSIER

SOURCE

Il n'y avait rien, et puis soudain, il y eut quelque chose. Une première molécule, une première étincelle, un premier cri, une première fleur, un premier rêve... Comment? Pourquoi? Les scientifiques ne cessent de vouloir rembobiner le fil de l'histoire jusqu'à cet instant d'origine. Sauf que ce point zéro a souvent la fâcheuse tendance à reculer à mesure qu'ils s'en rapprochent...

GETTY IMAGES

LA MERVEILLE

L'histoire de la première fleur

« Il a fallu un travail de recherche considérable pour dresser son portrait », souffle la botaniste et biologiste de l'évolution Sophie Nadot, de l'université Paris-Saclay, qui a épaulé son collègue Hervé Sauquet dans cette quête. C'est de ce calice primordial qu'ont jailli les 300 000 espèces de plantes à fleurs qui constituent aujourd'hui 90 % de la flore. À quoi pouvait donc ressembler cette pionnière qui contenait déjà en elle toute la diversité de formes, de couleurs et de parfums qui ravit aujourd'hui abeilles, papillons et humains ? Et dont l'apparition a, à elle seule, conduit à une explosion de la biodiversité ? « Cette révolution s'est faite en deux temps, s'émerveille le paléontologue Mike Benton, de l'université de Bristol. Avec d'abord la multiplication très rapide des premières plantes à fleurs jusqu'à la disparition des dinosaures, il y a 66 millions d'années, puis l'apparition des forêts tropicales. » Selon les travaux d'Hervé Sauquet et de ses collègues, cette explosion florale aurait donc commencé dans le cœur d'une fleur aux allures de magnolia. « Ce qui reste une hypothèse encore débattue, admet Sophie Nadot. On ne sait même pas si ses pétales étaient blancs et si elle était parfumée. » Cette « première fleur » est, de fait, virtuelle, le fruit d'un portrait-robot esquissé en ne conservant que les caractéristiques communes à plus de 800 espèces de plantes à fleurs actuelles. « Ce modèle guide néanmoins la recherche de fossiles », salue le paléontologue Andrew Leslie, de l'université Stanford. « Ce serait un rêve de trouver

le fossile de cette première fleur », soupire le généticien François Parcy, du laboratoire de physiologie cellulaire et végétale de Grenoble. Car pour l'heure, la plus ancienne plante à fleurs gravée dans la pierre vivait il y a 135 millions d'années, « alors que l'analyse des gènes des plantes évoque une origine bien plus ancienne, entre 140 et 250 millions d'années », rappelle-t-il. Deux espèces fossiles découvertes récemment en Chine, *Nanjinganthus dendrostyla* et

Florigeminis jurassica, datent respectivement de 174 et 164 millions d'années, pourraient toutefois s'en rapprocher. « Mais on n'est pas encore sûrs qu'il s'agisse de plantes à fleurs », tempère le généticien. Grâce à ses récents travaux, une chose est pourtant certaine : « Les gènes impliqués dans la formation des organes floraux – pistils, éta-

×10

C'est l'enrichissement de la biodiversité mondiale lié à l'éclosion de la première fleur.

mines, pétales et autres sépales – existaient déjà du temps des premières plantes à graines, et même peut-être chez les mousses qui se sont aventurées sur la terre ferme il y a 420 millions d'années », assure-t-il. Qui sait si d'éphémères fleurs n'ont pas orné les organes sexuels de quelques branches mutantes il y a déjà 350 millions d'années ? En attendant que leur magie se répande sur la planète. **J.-B.V.**



Elle ressemblerait à un magnolia, mais on ne sait pas si elle était blanche et parfumée

SOPHIE NADOT, BOTANISTE

PHOTODISC - H. SAUQUET ET AL. - ILLUSTRATION UDASSON



L'étincelle

L'histoire du premier feu

Cela a été un véritable jalon dans l'histoire des hominidés. Se réchauffer, repousser prédateurs et parasites, cuisiner, prolonger la durée du jour... « *Le feu est multifonctionnel! Et on se rassemble aussi autour de lui,* ajoute l'archéologue Ségolène Vandevelde, à l'université du Québec à Chicoutimi. *Le foyer a peut-être permis la constitution de grands groupes plus unis grâce à des rapports sociaux plus étroits.* »

Les plus anciennes traces reliant le feu à l'humain, des ossements brûlés au Kenya et en Afrique du Sud, remontent à 1,6 million d'années,

soit quelques centaines de milliers d'années seulement après l'apparition des premiers *Homo erectus*. Quelques autres cas isolés ont été repérés, comme en Asie occidentale, sur le site de Gesher Benot Ya'aqov, il y a environ 780 000 ans. Mais les archéologues restent prudents. « *Sur des sites en plein air comme ceux-ci, il se peut qu'un feu d'origine naturelle soit passé ultérieurement* », tempère Ségolène Vandevelde. Les indices sont rares, car non content d'être difficile à apprivoiser, le feu dissimule efficacement ses traces: nomades, les groupes ne laissent pas d'empreintes pérennes, les cendres étant vite dissoutes, et la matière organique (bois, aliments) rapidement

décomposée. Alors, quand les humains sont-ils devenus les maîtres du feu? Il y a peu, certains archéologues estimaient encore que l'événement se serait produit il y a un peu plus d'un million d'années: ce serait grâce au feu qu'*Homo erectus* aurait osé se lancer à la conquête des régions froides du Nord. Le thermomètre flirtait à l'époque avec 0°C, et un foyer y semblait requis pour survivre. Sauf que l'hypothèse a fait long feu. Car en Europe, malgré l'existence de nombreux abris sous roche et grottes protégées des intempéries, aucun ne présente de trace archéologique confirmant une utilisation régulière de feux à cette époque. Elles n'apparaissent que 400 000 à 300 000 avant notre ère. « *Puis il intègre vraiment,*

à partir de 250 000 ans, le répertoire technologique de la lignée humaine », constate Ségolène Vandevelde. Les hominidés acquièrent la capacité de l'allumer, l'entretenir, le transporter. Ils l'utilisent surtout avec de plus en plus de technicité: les essences de bois sont sélectionnées en fonction des usages, certaines permettant par exemple un éclairage plus efficace; leur chaleur est exploitée pour la production de nouveaux matériaux, comme des adhésifs à base de poix – une matière collante produite par distillation – utilisés pour la fabrication d'outils. Puis c'est au tour d'*Homo sapiens* de commencer autour du foyer sa longue vie sociale. Ce sera lui, le cœur de son habitat et de son artisanat pour des milliers d'années. **A.P.**

Il était une fois le temps

L'histoire du premier instant

Il y a peu, le premier instant apparaissait un millionième de seconde après le big bang, avec les premières particules: la thermodynamique pouvait alors se saisir de cette forme brûlante de matière vouée à se refroidir pour lui appliquer son deuxième principe d'entropie, qui donne une flèche au temps. Sauf que « *cette irréversibilité thermique n'est pas le temps* », tranche le physicien émérite Emil Roduner, de l'université de Stuttgart, porte-voix d'un consensus devenu très large. D'autant que des expérimentateurs ont observé qu'une soupe d'énergie,

semblable à celle qui a précédé l'apparition de la matière, pouvait s'écouler irréversiblement, comme du sable dans un sablier. Mieux, la thermodynamique quantique serait tentée de reculer le premier instant jusqu'au big bang: « *Le temps naît du hasard quantique* », soutient Alexia Auffèves, du CNRS. Depuis, chaque quantum d'énergie jouerait sans cesse à pile ou face, effaçant chaque fois un peu plus derrière lui son chemin vers le futur. **J.-B.V.**

L'œuf ou la poule

L'histoire de la première éclosion

« Des petits points scintillaient sous la carapace », se souvient le paléontologue Jean-Bernard Caron, du Royal Ontario Museum, qui a observé l'an passé aux rayons X une petite douzaine d'œufs cachés sous un fossile de trilobite – un des tout premiers invertébrés – âgé d'environ 500 millions d'années. Émouvant... « Il est très rare de découvrir une telle couvée chez ces animaux primitifs : les premiers œufs n'avaient pas de parois solides, ce qui rend leur fossilisation très improbable. » Leur apparition – il y a un milliard d'années ? deux ? – a pourtant marqué l'histoire. Le premier œuf, c'est le premier embryon, le premier animal pluricellulaire, qui, contrairement aux méduses ou aux éponges, n'est pas modulaire, mais unitaire. « Les gènes permettant l'agglomération des cellules embryonnaires qui conduiront aux premiers œufs existaient déjà chez les premiers animaux unicellulaires », gage le biologiste Stuart Newman, du New York Medical College, spécialiste du développement embryonnaire. Selon lui, les œufs ne seraient au fond qu'une variante de la stratégie des animaux unicellulaires, comme les amibes, qui sont capables de s'assembler les uns aux autres : « Une cellule unique est parvenue à créer un environnement clos favorisant sa multiplication et la reproduction d'une forme multicellulaire », explique-t-il. Ainsi naquit l'œuf... des centaines de millions d'années avant la poule. **J.-B.V.**

LA NAISSANCE DU MONSTRE

LE DOSSIER SOURCE



L'histoire du premier trou noir

Hypothèse fascinante : les premiers trous noirs pourraient être apparus bien avant les premières étoiles, quelques fractions de seconde seulement après la naissance de l'Univers. En cause : des « surdensités de la matière dues à des fluctuations quantiques », évoque Olivier Minazzoli, astrophysicien à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Il faut alors imaginer l'Univers comme « une sorte de soupe, avec des petits grumeaux qui se seraient effondrés pour former les trous noirs », illustre son collègue Éric Lagadec. Mais les théories sur le sujet sont nombreuses. « La plupart prédisent qu'ils se sont tous formés en même temps, avec la même masse ; quand d'autres avancent des temporalités et des masses variées », précise Marta Volonteri, directrice de recherche CNRS à l'Institut d'astrophysique de Paris. La fourchette va d'un centième de milligramme à près de 10000 masses solaires... L'existence de ces monstres archaïques, défendue notamment par l'emblématique physicien Stephen Hawking, est pourtant encore loin de faire consensus, mais l'idée est en plein essor. « Avant 2016, elle ne suscitait pas beaucoup d'intérêt, mais tout a changé

quand on a détecté des ondes gravitationnelles générées par la fusion de deux trous noirs », relate Marta Volonteri. Deux trous noirs qui semblent un peu trop massifs pour être nés classiquement, de l'effondrement d'une étoile. D'où l'hypothèse : et si c'était des trous noirs primordiaux ? « Mais cela reste assez débattu dans la communauté, et pas du tout tranché », prévient Olivier Minazzoli. Il faut dire que leur rôle a peut-être été fondamental. Certes, ceux qui avaient une masse inférieure à un milliard de tonnes se sont totalement évaporés sous l'effet du rayonnement dit de Hawking. Mais les plus gros pourraient être encore là, toujours en train de s'évaporer. Et ce pourrait être eux, la fameuse matière noire que recherchent en vain les physiciens pour expliquer la rotation trop rapide des galaxies. Sans compter qu'ils pourraient aussi avoir été « les graines initiales des trous noirs supermassifs, aujourd'hui au centre des galaxies », pointe Olivier Minazzoli. Voire à l'origine des plus gros d'entre eux, des trous noirs d'un milliard de masses solaires, comme le suspecte Marta Volonteri : « On a commencé le calcul la semaine dernière ! » À suivre... S.B.

ETTY/MAES - SHUTTERSTOCK - ILLUSTRATION YORHASEN

Oh Hisse !

L'histoire du premier âne

« Il n'a vraiment pas de chance de faire partie de la même famille que le cheval », plaisante le paléobiologiste Ludovic Orlando, du Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse. *Quand celui-ci accapare tout le prestige et la noblesse, l'âne n'a pas la réputation d'être très malin, du moins en Occident.* La bête de somme a pourtant servi l'humanité sans relâche, d'abord pour le transport, puis aussi pour les travaux agricoles. Elle s'avère d'ailleurs beaucoup plus résistante que le cheval. « Il est grand temps de remettre les pendules à l'heure », estime le chercheur qui, avec son équipe, a dévoilé en septembre dernier l'épopée génétique de la domestication de l'âne.

C'est bel et bien le baudet qui a accompagné *Homo sapiens* dans sa conquête de la planète. Car cet animal est voyageur, comme le montre la diversité de son génome. « L'étude des liens de parenté des populations mondiales actuelles raconte leur histoire géographique », s'enthousiasme Ludovic Orlando. Les chercheurs ont remonté la piste des premiers ânes domestiqués en comparant le nombre de mutations de l'ADN trouvé dans chaque génome actuel avec une trentaine d'échantillons issus de dents ou d'ossements vieux de 1000 à 4000 ans récoltés en Asie, en Anatolie et en Europe.

Pour eux, pas

de doute, ce sont des génomes de l'Afrique de l'Est qu'émergent tous les autres. Et voilà la Corne de l'Afrique devenue le berceau du premier âne, il y a de cela 7000 ans : bien après le chien, mais 3000 ans avant la domestication du cheval, intervenue dans la vallée de la Volga, en Russie.

7000

C'est l'âge du plus vieil âne découvert en Afrique, 3000 ans avant la domestication du cheval.

L'âne poursuit ensuite sa route en Afrique de l'Ouest 2000 ans plus tard, puis s'aventure en Asie et en Europe 500 ans après.

« Mais il y a aussi eu des allers-retours. En Égypte, certains ânes possèdent des variants qui ne peuvent être apparus qu'en dehors d'Afrique », insiste le paléobiologiste. L'âne a accompagné l'humain dans toutes

ses migrations. Autre découverte surprenante : l'un des fossiles étudiés, découvert dans la Meuse, a permis de mettre au jour un élevage d'ânes géants hauts de 1,50 m au garrot – contre 1,30 m normalement. « Nous sommes tombés sur un centre de reproduction de mules que les gens s'arrachaient et faisaient venir de loin. Car à l'époque romaine, la mule est le véhicule tout-terrain ! Elle vit beaucoup plus longtemps que le cheval, va aussi vite que lui et boit peu », détaille Ludovic Orlando. Peut-être pas la plus prestigieuse des espèces domestiquées, mais sans doute la plus utile et dévouée. A.P.

SHUTTERSTOCK - BETTY MACESS - SLOBOVSKY, JETTY MACESS - ILLUSTRATION YVES BON

PANIQUE DANS LA JUNGLE

L'histoire du premier cri

Imaginez une Terre animée seulement par le bruit du tonnerre, du vent dans les feuilles, de l'eau qui dévale les montagnes et, par endroits, les frotements d'ailes des tout premiers grillons. Quand soudain... un premier son jaillit de la gorge d'un animal: « Nos études phylogénétiques montrent que la communication acoustique est apparue chez les vertébrés il y a plus de 200 millions d'années, au sein d'espèces nocturnes », révèle John Wiens, de l'université d'Arizona. Muets, plongés dans la nuit noire, les spécimens ancestraux avaient probablement le plus grand mal à attirer des partenaires: « Ils auraient pu utiliser des signaux chimiques, mais les ondes sonores portent beaucoup plus loin », avance l'évolutionniste.

Même si les paléontologues peinent à retrouver les tissus mous des premiers larynx, une étude publiée fin octobre 2022 suggère que la quasi-totalité des vertébrés actuels vocalisent – pas impossible donc que cela remonte à un ancêtre commun. « Ce caractère a été conservé lorsqu'oiseaux, mammifères et amphibiens sont passés d'un mode de vie nocturne à diurne. Et il a rarement été abandonné au cours de l'évolution. Nous sommes en train d'étudier les raisons de cette stabilité. L'acoustique semble être un avantage car la production de son est contrôlée, à la différence de signaux comme le plumage coloré, qui peut aussi attirer les prédateurs. » Raison de plus pour continuer de siffler, rugir, coasser, aboyer, barrir ou même parler. **V.N.**

APPARITION DES MONDES

L'histoire de la première planète

Elle s'appelle Matusalem: la plus vieille exoplanète identifiée est une géante gazeuse, dont la présence dans notre galaxie, suggérée par le calcul en 1993, a été confirmée en 2003. Née 700 millions d'années après le big bang, elle est trois fois plus âgée que notre bonne vieille Terre. Comment aller encore plus loin? Le télescope spatial James-Webb, installé en orbite l'été dernier, permettra-t-il de remonter jusqu'au premier monde? En partie peut-être. « Il est en théorie capable de nous montrer à quoi ressemblaient les premières étoiles », s'enthousiasme Olivier Berné, de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie de Toulouse. Or, si l'on en croit les modèles, il faut une étoile pour donner naissance à une planète, par accréation de gaz et de poussières au sein des

disques protoplanétaires qui l'entourent. L'apparition des planètes ne peut donc précéder celle des étoiles, datée d'environ 100 millions d'années après le big bang. Sachant que cette première génération d'étoiles, très chaudes et génératrices de forts vents stellaires, n'était pas propice à la formation planétaire: c'est dans leur cœur que se sont forgés les atomes lourds, comme le carbone, l'oxygène ou le fer, qui constitueront les planètes rocheuses et le probable noyau des gazeuses. Et il a fallu attendre leur mort pour que ces éléments soient disséminés. Les premières planètes seraient donc nées autour de la seconde génération d'étoiles, apparue 200 millions d'années après le big bang. La recherche de ces aïeux de Matusalem est en cours... **S.D.**

En transe

L'histoire de la première drogue

Alcool, cannabis, opium, coca, tabac, peyotl, ayahuasca, champignons hallucinogènes... Près d'une quarantaine d'espèces de plantes et de champignons peuplent la liste des substances psychoactives déjà découvertes par les archéologues. « *La plus ancienne preuve se trouve du côté du mont Carmel, en Israël* », rappelle l'ethnobotaniste italien Giorgio Samorini, qui a publié récemment une somme critique de toutes ces découvertes. En 2018, une équipe internationale a ainsi mis au jour des micro-résidus d'orge et de blé fermentés au fond de trois mortiers en pierre, attestant que le peuple semi-nomade natoufien consommait de la bière il y a 13000 ans. Cette recherche d'ivresse faisait a priori partie d'un rituel funéraire, les mortiers ayant été retrouvés dans la grotte de Raqefet, qui faisait office de cimetière. « *Mais les humains ont consommé des drogues bien avant cela* », gage Giorgio Samorini. Difficile en effet d'imaginer que ce goût soit apparu d'un coup d'un seul dans toute l'Eurasie, dans le sillage de l'agriculture. Des têtes de cannabis riches en THC, la fameuse molécule psychoactive du chanvre, ont par exemple été découvertes dans un ancien village établi il y a plus de 10000 ans sur la côte est du Japon. « *Il y a aussi des preuves que l'opium était consommé il y a 7700 ans en Europe*, abonde le paléontologue Nicholas Longrich, de l'université de Bath. *À la même période, la prise de substances psychédéliques en Amérique est aussi avérée.* » La plus

ancienne remonterait à 8000, voire 10000 ans. Des fouilles ont révélé dès 1980 « *des concentrations élevées de pollen et de résidus de cactus San Pedro dans la Cueva del Guitarrero, au Pérou* », confirme Giorgio Samorini. Probablement une préparation chamannique: la chair de ce cactus est encore appréciée par des communautés des Andes pour sa forte teneur en mescaline, à l'image du célèbre peyotl. Les archéologues ont aussi obtenu la preuve que des feuilles de coca avaient été mâchées à dessein il y a environ 8000 ans au Pérou. « *Mais cela ne nous dit rien des premières tentatives, et il sera difficile d'établir des preuves irréfutables de pratiques plus anciennes* », déplore Giorgio Samorini. Qui en est pourtant persuadé: « *Le désir d'altérer la conscience est très ancien et a vraisemblablement débuté avec la consommation de fruits pourris alcoolisés ou avec des champignons hallucinogènes, comme les amanites tue-mouches.* » Pour Nicholas Longrich, il est cependant difficile de savoir si cet usage fut aussi ancestral et répandu que cela: « *Je reste étonné de voir que de très anciennes populations de chasseurs-cueilleurs comme les San, qui vivent encore en Afrique australe, ne consomment quasiment pas de substances psychoactives.* » En revanche, « *ils pratiquent des danses qui les mettent en transe* ». Le premier vertige n'a peut-être pas eu besoin d'artifice chimique... J.-B.V.



Le désir d'altérer la conscience a vraisemblablement débuté avec la consommation de fruits pourris alcoolisés

GIORGIO SAMORINI, ETHNOBOTANISTE

Un peu de douceur

L'histoire du premier poil



« C'est l'apanage des mammifères », lance Leopold Eckhart. Ce biologiste et dermatologue de l'université de Vienne s'est lancé dans la traque des premières pilosités animales. « Elles seraient apparues il y a plus de 180 millions d'années chez l'ancêtre commun à tous les mammifères », explique-t-il. Selon lui, ces poils devaient ressembler à des proto-moustaches : « Ils avaient alors une fonction purement tactile, à l'image des moustaches de chat. » Ces nouveaux appendices ont apporté un sens de plus à ce qui s'apparentait alors à de petits rongeurs nocturnes se mouvant avec prudence dans les entrelacs de la végétation, voire sous terre, à l'abri du regard perçant

des dinosaures. « Un atout promu par la sélection naturelle, souligne Leopold Eckhart. Les poils se sont ensuite diversifiés et se sont répandus sur tout le corps, jusqu'à parer les mammifères de fourrure, atout supplémentaire pour se camoufler ou maintenir sa température. » Moustaches, cheveux, toisons,

laine... Tous ces couverts pileux sont composés à près de 90% de kératine, une protéine capable de s'assembler en très longues chaînes moléculaires et d'engendrer ainsi de durs et longs filaments. Un assemblage d'atomes qui pourrait être bien plus ancien que les mammifères :

« Nous nous sommes rendu compte que les gènes codant pour la kératine étaient aussi présents chez les reptiles, mais sûrement aussi chez l'ancêtre commun à tous ces animaux, il y a plus de 300 millions d'années », confie le chercheur. Chez les sauriens, cette kératine se concentre dans les griffes. « Elle est aussi présente dans les plumes d'oiseau et de dinosaure », ajoute-t-il. Étonnante leçon de biologie évolutive : la douceur de nos poils et la légèreté des plumes sont nées dans le même creuset génétique que le tranchant des griffes de dinosaure. **J.-B.V.**



Comme la moustache des chats, les premiers poils avaient d'abord une fonction tactile

LEOPOLD ECKHART, BIOLOGISTE



QUAND LA LUMIÈRE FUT

L'histoire du premier photon

En fait, ce que les astrophysiciens traquent dans le ciel, ce ne sont pas vraiment les tout premiers photons. Car on ne verra jamais ces particules de lumière apparues dès 10^{-32} seconde après le big bang, émises par la matière et l'antimatière qui s'annihilent furieusement. « À cette époque, l'Univers est une purée d'énergie où particules et rayonnements sont sans cesse en interaction, avec des grains de lumière à la durée de vie très courte, décrit Daniel Kunth, astrophysicien émérite au CNRS. C'est le brouillard : impossible de distinguer quoi que ce soit. »

Pour les astrophysiciens, la « première lumière », celle qui a vraiment commencé à éclairer le cosmos, date de 380 000 ans plus tard, lorsque l'Univers sort du plasma de particules pour former les premiers atomes. Il devient alors transparent : émise en micro-ondes par ce qui n'est encore qu'un amas de gaz chaud, la lumière voyage à travers le temps et l'espace. « C'est la première

qui se propage, la première qu'on peut observer », insiste Daniel Kunth. Prédit dès les années 1940 et découvert par hasard en 1964, ce rayonnement primordial qui baigne tout l'Univers est depuis traqué sans relâche. Et il a été capté avec une précision record par le satellite Planck au début des années 2010. L'étude de ces cartographies du « fond diffus cosmologique » est encore en cours, les astrophysiciens tentent d'y lire le portrait de l'Univers primordial. « On y observe des structures appelées oscillations acoustiques des baryons : c'est la preuve de l'existence des photons avant 380 000 ans, détaille Jean-Christophe Hamilton, chercheur en cosmologie observationnelle au CNRS. Le Graal de la cosmologie serait de réussir à y détecter certains modes particuliers de polarisation de la lumière. » Notamment ceux qui confirmeraient la théorie de l'inflation, qui prédit une expansion extrêmement rapide de l'Univers une fraction de seconde après le big bang. **C.L.**



Le conteur

L'histoire de la première histoire

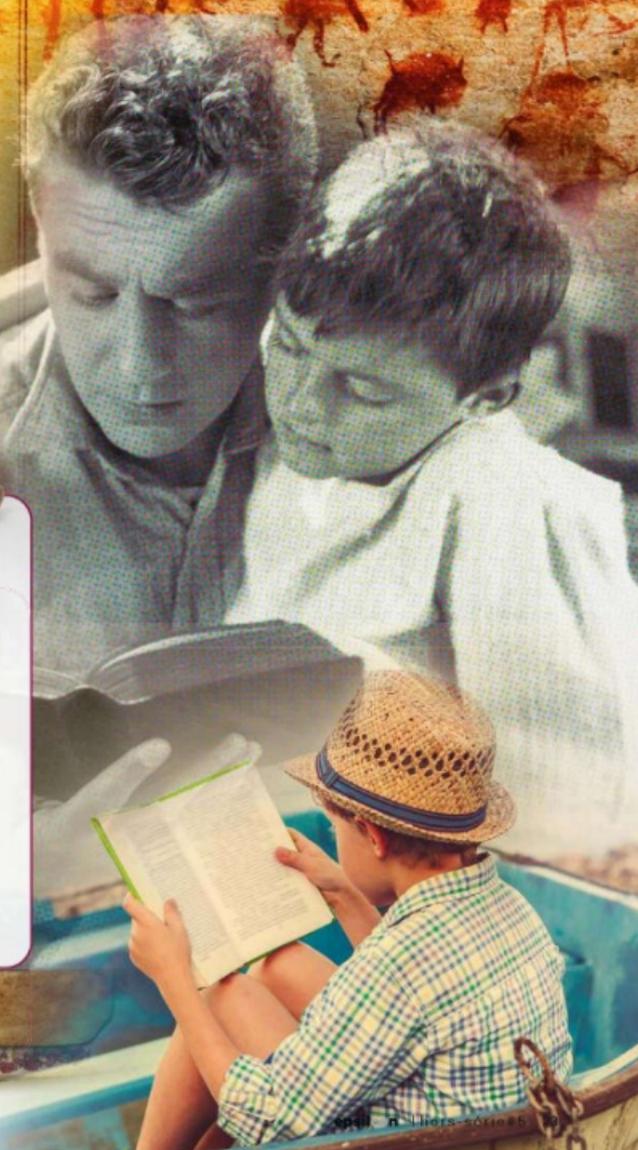
Il était une fois... des humains et des animaux qui vivaient à l'intérieur de la Terre et qui, un beau jour, sortirent de leur grotte pour se répandre sur la planète. Il était une fois... des hommes capables de changer de peau pour rajeunir, mais qui ne le peuvent plus parce qu'ils n'ont pas été reconnus par leur famille. Il était une fois... un homme représenté sous les traits de la constellation d'Orion qui se retrouva expulsé par sa femme, la constellation des Pléiades, pour avoir laissé échapper le gibier qu'il poursuivait... Ces bribes d'histoires nous viennent du fond des âges. Sans doute avant la première sortie d'Afrique d'*Homo sapiens*, il y a environ 100 000 ans ! « Nous avons détecté la présence d'une dizaine d'images

mythologiques similaires en Afrique subsaharienne, en Australie et en Amérique: difficile d'expliquer cette distribution autrement que par les premières migrations humaines, qui ont suivi cette trajectoire », dévoile Yuri Berezkin, du musée d'Anthropologie et d'Ethnographie de Saint-Petersbourg. Ces récits se seraient transmis d'une génération à l'autre, plus ou moins fidèlement bien sûr. « Nos outils de phylomythologie permettent de remonter à ces premiers peuplements », confirme Julien d'Huy, du laboratoire d'anthropologie sociale du Collège de France. La phylomythologie? Une nouvelle méthode scientifique, inspirée de la biologie évolutive, qui retrace les liens de parenté entre les mythes: les multiples



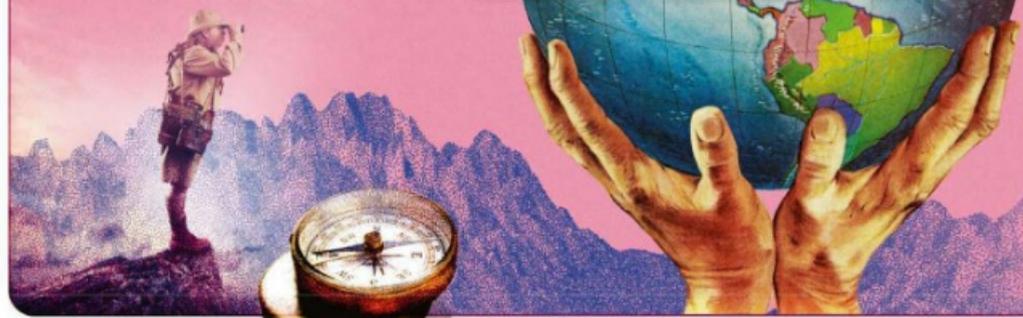
versions connues d'une histoire sont décomposées en petites unités d'informations (une petite fille/elle est habillée en rouge/elle se rend chez sa grand-mère...) tel un code génétique; plus la séquence diverge entre deux versions, plus leur ancêtre commun est éloigné. « Les récits sur la mort se sont particulièrement bien conservés, peut-être parce que la noradrénaline libérée par le stress favorise la mémorisation », évalue Julien d'Huy. Les mythes les plus primitifs parlent aussi d'émergence primordiale, d'amour ou d'un étrange pouvoir que détenaient les femmes avant d'en être dépossédées. Mais de quoi parlait exactement la toute première histoire? Le chercheur français pense que ces outils statistiques pourront révéler un jour les pensées intimes de nos plus lointains ancêtres. **V.N.**

SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES - ILLUSTRATION YORBAISON



Terre

L'histoire du premier continent



La naissance de ces grands ensembles géologiques, qui dérivent depuis des milliards d'années, donne bien du fil à retordre aux géologues. « *Tous les six mois, un nouvel article dit l'inverse du précédent...* », soupire la géochimiste Marion Garçon, de l'université Clermont Auvergne. Elle défend l'hypothèse dominante de la tectonique des plaques, émise dès 1986 et qui remporte aujourd'hui le plus de suffrages chez les scientifiques: la grosse boule de magma que fut notre Terre à ses débuts, il y a 4,57 milliards d'années, se serait figée quelque 100 millions d'années plus tard pour former une espèce de croûte à sa surface. « *Puis, en refroidissant, la croûte s'est fracturée, expose la chercheuse. Les mouvements du manteau ont entraîné le déplacement des plaques: la tectonique a pu commencer.* » Accompagnée d'un déchaînement d'activité volcanique, de tremblements de terre et, surtout, d'une accumulation de croûte de plus en plus épaisse. « *Cela me semble raisonnable d'imaginer qu'elle a débuté il y a 4 milliards d'années* », poursuit Marion Garçon, dont les derniers travaux, publiés en 2021, soutiennent ce scénario. « *Il y avait certainement des continents dès le début de l'histoire de la Terre, confirme Luc Doucet, spécialiste des processus géodynamiques à l'université Curtin, en Australie. D'ailleurs, les plus vieux*

cristaux connus, situés dans les Jack Hills, en Australie-Occidentale, datent d'il y a 4,4 milliards d'années. »

Mais une autre théorie sur la naissance des continents fait aussi des émules depuis quelques décennies: celle d'un bombardement tardif de météorites. Une pluie de roches

4,2

C'est, en milliards d'années, l'âge du plus vieux bloc, situé au Canada, sur lequel on peut marcher.

qui se serait abattue sur la Terre il y a 4,1 milliards d'années durant 300 millions d'années... « *L'idée est séduisante, car elle est super simple: les impacteurs entrent en collision avec la surface terrestre, créent une onde de choc qui compresse le manteau, puis rebondit, emportant avec elle des roches en fusion à la surface* », détaille Luc Doucet. Le moteur est lancé, et les continents de fleurir. La dernière publication en

date, parue en août 2022, soutient ce scénario sur la base de l'analyse de roches supposément marquées par ces impacts. « *Mais les preuves restent faibles* », pondère Luc Doucet. « *La formation des continents, qui perdure aujourd'hui, ne suit pas cette règle dont elle peut se passer, ajoute Marion Garçon. Et heureusement!* » A.P.

Et nos nuits furent plus belles que nos jours...

L'histoire du premier rêve

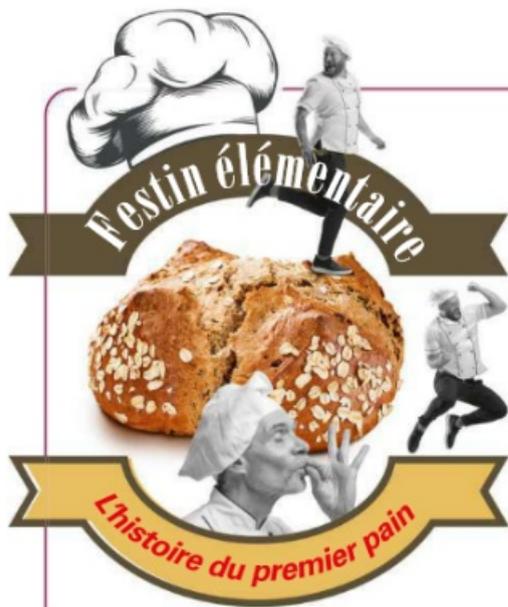
200 millions d'années? 250? 350? Qui dit mieux? « *Les dernières études suggèrent une origine à 500 millions d'années* », lance Philippe Mourrain, neurobiologiste à l'université Stanford. En effet, plusieurs expériences viennent de montrer chez des lézards, des poissons-zèbres, des mouches, des pieuvres et des araignées une phase de repos qui ressemble fort au sommeil paradoxal des humains, riche en rêves complexes. Pendant quelques secondes, l'activité cérébrale de tous ces spécimens endormis devient similaire à celle de l'état d'éveil, leurs yeux bougent dans tous les sens comme s'ils vivaient une scène imaginaire... Même s'il est encore impossible d'accéder à leurs représentations mentales, tout porte à croire qu'ils rêvent! Et les scientifiques tentent de voir si c'est aussi le cas d'organismes plus primitifs, comme la méduse ou l'éponge. « *On ne sait pas si ce phénomène détecté chez des espèces très distantes les unes des autres remonte à une ascendance commune ou si c'est le résultat d'évolutions indépendantes* », reconnaît Gilles Laurent, de l'Institut Max-Planck, à Francfort. Mais à quoi pouvaient bien servir ces songes ancestraux? Peut-être à mieux mémoriser des techniques de chasse ou simuler des situations menaçantes. V.N.

PHILIPPE MOURRAIN - ILLUSTRATION YDRAGON



Les dernières études suggèrent que le rêve remonte à 500 millions d'années

PHILIPPE MOURRAIN, NEUROBIOLOGISTE



À première vue, ce ne sont que 24 minuscules débris de charbon. « Mais l'analyse au microscope électronique de leur structure montre qu'il s'agit bien de morceaux d'un pain plat trop cuit, fabriqué à partir de céréales sauvages et de tubercules de jonc », lance Amaia Arranz-Otaegui, de l'université de Copenhague. La surprise est d'autant plus grande que ces vestiges ont été retrouvés dans un camp de chasseurs-cueilleurs vieux de plus de 14 000 ans, en Jordanie... soit 4 millénaires avant l'avènement de l'agriculture. « La fabrication de ce pain devait être très chronophage : il fallait récolter de nombreuses plantes sauvages, décortiquer leurs tout petits grains, les moulin... », admire l'archéobotaniste, qui pense que des pains encore plus anciens seront bientôt découverts. Avec leurs nouveaux outils d'analyse, les archéologues se rendent compte que notre amour précoce pour les glucides des blés, orges et millets prenait aussi la forme de porridge ou de bière. « Il est fort possible que ces premiers pains aient encouragé la domestication des céréales. » On connaît la suite. **V.N.**

Au-delà

L'histoire de la première idole

Elle mesure 6 cm de long, 3,5 de large et pèse 33 g. Cette représentation du corps d'une femme sculptée il y a 35 000 ans dans une défense de mammouth a été découverte en 2008 dans une grotte du Jura souabe, en Allemagne. La Vénus de Hohle Fels, c'est son nom, peut tenir dans une poche, ou être portée autour du cou grâce à un anneau. Et c'est la plus vieille idole connue. Façonnée plus de dix mille ans avant celles de Willendorf, en Autriche, de Lespugue, en France, ou de Kostienki, en Russie. Pourquoi la considérer comme une idole, plutôt qu'un simple jouet ou un bijou ? Parce qu'elle n'a ni tête ni jambes (et semble n'en avoir jamais possédé), ce qui fait penser aux archéologues qu'elle ne représente pas un individu. Quant à ses attributs féminins — le buste et les fesses — disproportionnés par rapport au reste du corps, ils suggèrent une représentation symbolique. « Je n'aime pas trop le terme d'idole, trop associé à la religion catholique, je lui préfère celui de "représentation figurative", explique son découvreur, Nicholas Conard, de l'université

de Tübingen. Il est toutefois évident que la Vénus de Hohle Fels s'inscrit dans un système de croyances qui relève des domaines artistique et religieux. Ses attributs

10 000

C'est le nombre d'années qui séparent la Vénus de Hohle Fels des autres Vénus bien plus récentes.

laissent penser qu'elle avait un rapport avec ce qui a trait à la sexualité et à la fécondité. » Mais pourquoi les humains préhistoriques, en l'occurrence *Sapiens* dans cette partie de l'Allemagne, se sont-ils mis à représenter des êtres symboliques pour leur vouer un culte ? Les chercheurs étudient les ressorts cérébraux de ce glissement symbolique : le psychisme des *Homo* s'est complexifié, et ils auraient ressenti le besoin de représenter des êtres fictifs, afin d'anticiper le futur. « Fabriquer des objets avec d'éventuelles propriétés magiques était une façon pour les pre-

miers humains de se prouver qu'ils avaient une emprise sur le réel, face à la dureté de leur existence », commente Jean-Paul Demoule, professeur émérite à l'université de Paris. Porter un talisman pour trouver un peu de réconfort et conjurer le sort, alors que l'Europe subissait à l'époque une période glaciaire et qu'il n'était pas rare de tomber nez à nez avec un mammouth ou un tigre à dents de sabre... L'apparition de cet artéfact marque en tout cas un tournant pour l'humanité. Même s'il a pu exister auparavant des comportements mystico-religieux, comme l'enterrement des morts, déjà observé il y a près de 300 000 ans, la naissance des idoles est l'un des premiers signes d'une forme d'art et de culture religieuse au sein des groupes humains. Rien que ça ! **E.P.**

Coup de foudre atomique



L'histoire de la première molécule

« Il a fallu attendre 80000 ans après le big bang pour la voir apparaître », estime Bohdan Novosyadlyj, directeur de l'observatoire astronomique de l'université de Lviv, en Ukraine. Attendre que ralentisse la course des deux premiers atomes, l'hélium et l'hydrogène. Qu'une quantité suffisante d'hydrogène se conserve sous sa forme ionisée (H⁺). « Et que l'environnement se raréfie pour éviter la destruction de cette molécule par collision », ajoute l'astrophysicien. C'est donc ainsi qu'est apparu l'hydrure d'hélium (HeH⁺). L'amorce d'un processus de formation de nuages de gaz massifs et rayonnants – avec le dihydrogène (H₂) et une de ses variantes, la deutérite (HD) – qui, 120 millions d'années plus tard, enflammeront le cœur des premières étoiles. Sur la base de nouveaux calculs, Bohdan Novosyadlyj et ses collègues prédisent que ces nuages primordiaux ont laissé une très faible trace dans le ciel, sous la forme d'un rayonnement fossile très froid, de l'ordre du microkelvin, soit un milliardième de degré Celsius. « La prochaine génération

de télescopes devrait le confirmer », espère-t-il. En attendant, la justesse de ces prédictions a pu être attestée à la lisière d'une jeune nébuleuse, NGC 7027, apparue il y a 600 ans à environ 3000 années-lumière de nous. « Les conditions physiques s'y rapprochent de celles de l'univers primordial », souligne l'astrophysicien. C'est pourquoi, dès 1988, l'astronome français Jean-Pierre Maillard traquait déjà HeH⁺ dans cette nébuleuse à l'aide du détecteur à infrarouge du télescope Canada-France-Hawaï. Le signal était toutefois bien trop faible pour être capturé par les technologies de l'époque. Il a fallu attendre 2019 et une nouvelle génération d'appareils : « Nos deux observations, avec le télescope à infrarouge de l'observatoire d'Hawaï et celui embarqué à bord de l'observatoire volant SOFIA, ont confirmé la présence de HeH⁺ au sein de NGC 7027 », se réjouit l'un des artisans de cette prouesse, l'astrophysicien David Neufeld, de l'université Johns-Hopkins. Une fenêtre ouverte sur la naissance de la grande chimie cosmique. **J.-B.V.**

SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES - ILLUSTRATION Y. DRAGON

Abonnez-vous

Le mensuel



4,50€ / MOIS
Sans engagement*

Le mensuel + le hors-série



5,95€ / MOIS
Sans engagement*

epsilon

nouveau magazine d'actualité scientifique



SUR EPSILOON.COM

ou scannez le QR code ci-dessus



par téléphone

01 87 64 09 62

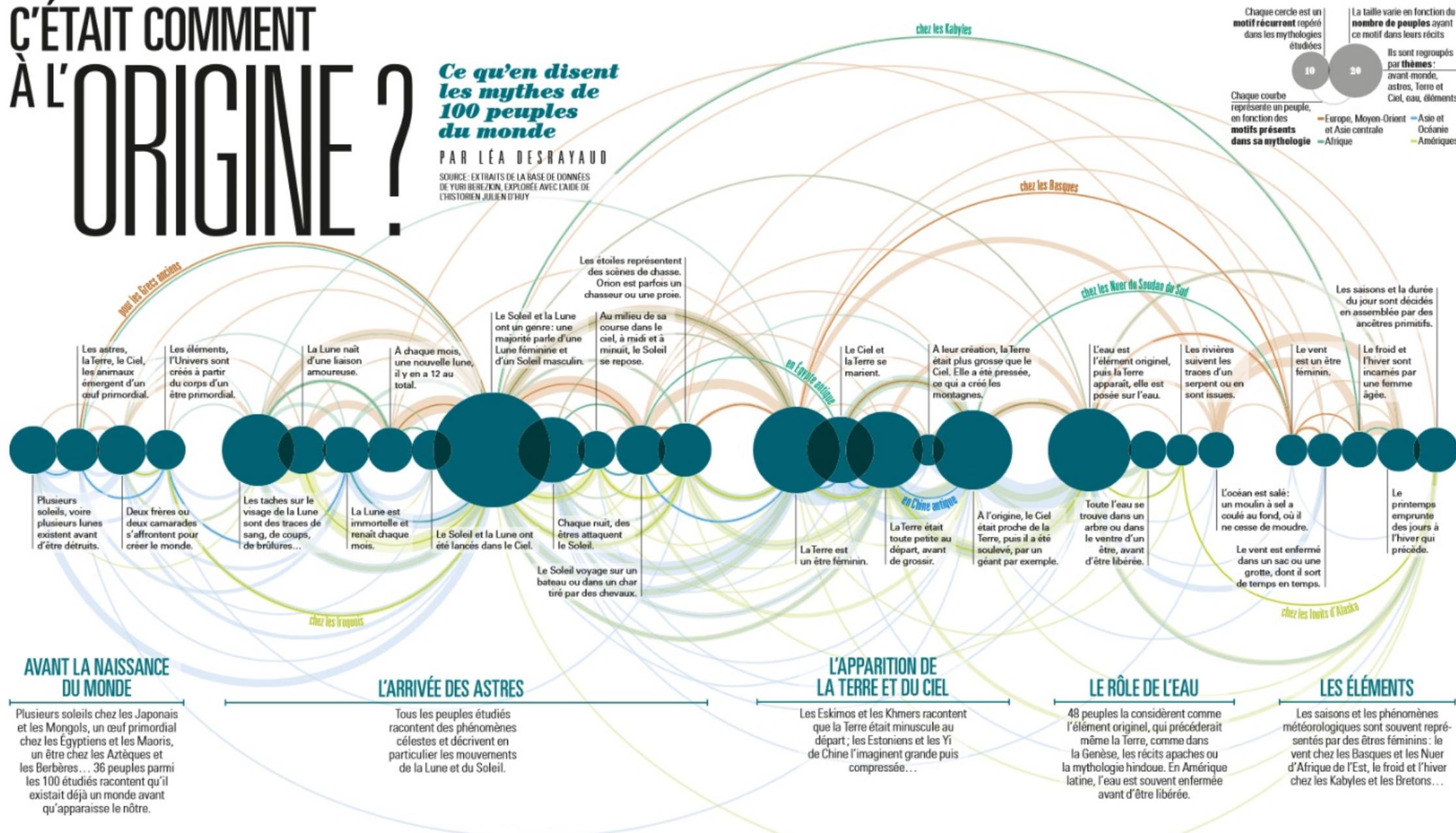
Du lundi au vendredi de 9 h à 19 h

C'ÉTAIT COMMENT À L'ORIGINE ?

Ce qu'en disent les mythes de 100 peuples du monde

PAR LÉA DESRAYAUD

SOURCE: EXTRAITS DE LA BASE DE DONNÉES DE YURI BEREZKIN, EXPLORÉE AVEC L'AIDE DE L'HISTORIEN JULIEN D'HUY



AVANT LA NAISSANCE DU MONDE

Plusieurs soleils chez les Japonais et les Mongols, un œuf primordial chez les Égyptiens et les Maoris, un être chez les Aztèques et les Berbères... 36 peuples parmi les 100 étudiés racontent qu'il existait déjà un monde avant qu'apparaisse le nôtre.

L'ARRIVÉE DES ASTRES

Tous les peuples étudiés racontent des phénomènes célestes et décrivent en particulier les mouvements de la Lune et du Soleil.

L'APPARITION DE LA TERRE ET DU CIEL

Les Eskimos et les Khmers racontent que la Terre était minuscule au départ; les Estoniens et les Yi de Chine l'imaginent grande puis compressée...

LE RÔLE DE L'EAU

48 peuples la considèrent comme l'élément originel, qui précéderait même la Terre, comme dans la Genèse, les récits apaches ou la mythologie hindoue. En Amérique latine, l'eau est souvent enfermée avant d'être libérée.

LES ÉLÉMENTS

Les saisons et les phénomènes météorologiques sont souvent représentés par des êtres féminins: le vent chez les Basques et les Nuer d'Afrique de l'Est, le froid et l'hiver chez les Kabyles et les Bretons...

LE MIRAGE DES ORIGINES

GETTY IMAGES

Le big bang n'est pas le début!

L'affaire paraissait réglée. L'Univers est né il y a 13,8 milliards d'années avec le big bang. Sauf que cette explosion originelle n'a rien d'un début, s'enflamme la communauté des chercheurs. Qu'y avait-il avant? C'est quoi, le début de l'histoire? Et si tout restait encore à écrire...

PAR SIMON DEVOS

et

possibilité

shots

Web - Fireshot

ait-il quelque chose avant le big bang? Et si? La question peut sembler incongrue que cet événement cosmique est précé-
ent censé décrire le point de départ de
oïre de l'Univers, le moment où tout a
encé, l'instant zéro: à quoi cela rime-t-
e demander ce qu'il y avait avant? «À
re vue, cela n'a pas plus de sens que de
r ce qu'il pourrait bien y avoir au nord
Nord», admet Patrick Peter, de l'Institut
physique de Paris.

ent, cette question, beaucoup de cher-
se la posent aujourd'hui très sérieuse-
e domaine est même en pleine efferves-
orté par de nouvelles idées pour penser,
eaux outils pour mesurer et de nouvelles
pour observer, comme les ondes gravi-
lles, détectées depuis 2015 seulement.
veaux modèles sont bâtis par centaines
nter de mettre la main sur l'hypothé-
à a précédé le nôtre, constate Douglas

SCOU, de l'université de Colombie-Britannique, au Canada.
D'ici peu de temps, à l'aide de nouveaux instruments,
plus perfectionnés que jamais, nous pourrions peut-être
enfin trancher cette question, et même tenter de déceler
des traces laissées par un supposé univers ancestral... »

LE FIN MOT DE L'HISTOIRE

L'affaire semblait pourtant réglée. Après des millénaires
d'inlassables questionnements sur l'origine du monde,
l'humanité avait enfin sa réponse: non, l'Univers n'a pas
toujours été là; il a une origine, un commencement, une
naissance, qui a eu lieu il y a 13,8 milliards d'années.

Et le raisonnement qui mène à cette conclusion est
somme toute assez logique. Il se fonde principalement sur
le fait que les galaxies observées dans le ciel s'éloignent
les unes des autres à très grande vitesse. Notre Univers
est en expansion, comme un ballon de baudruche qui
ne cesserait de gonfler. En découle naturellement l'idée
que, par le passé, il était moins grand. Et, en poussant le
raisonnement jusqu'au bout, les cosmologistes arriveraient

L'ICÔNE EST TOMBÉE

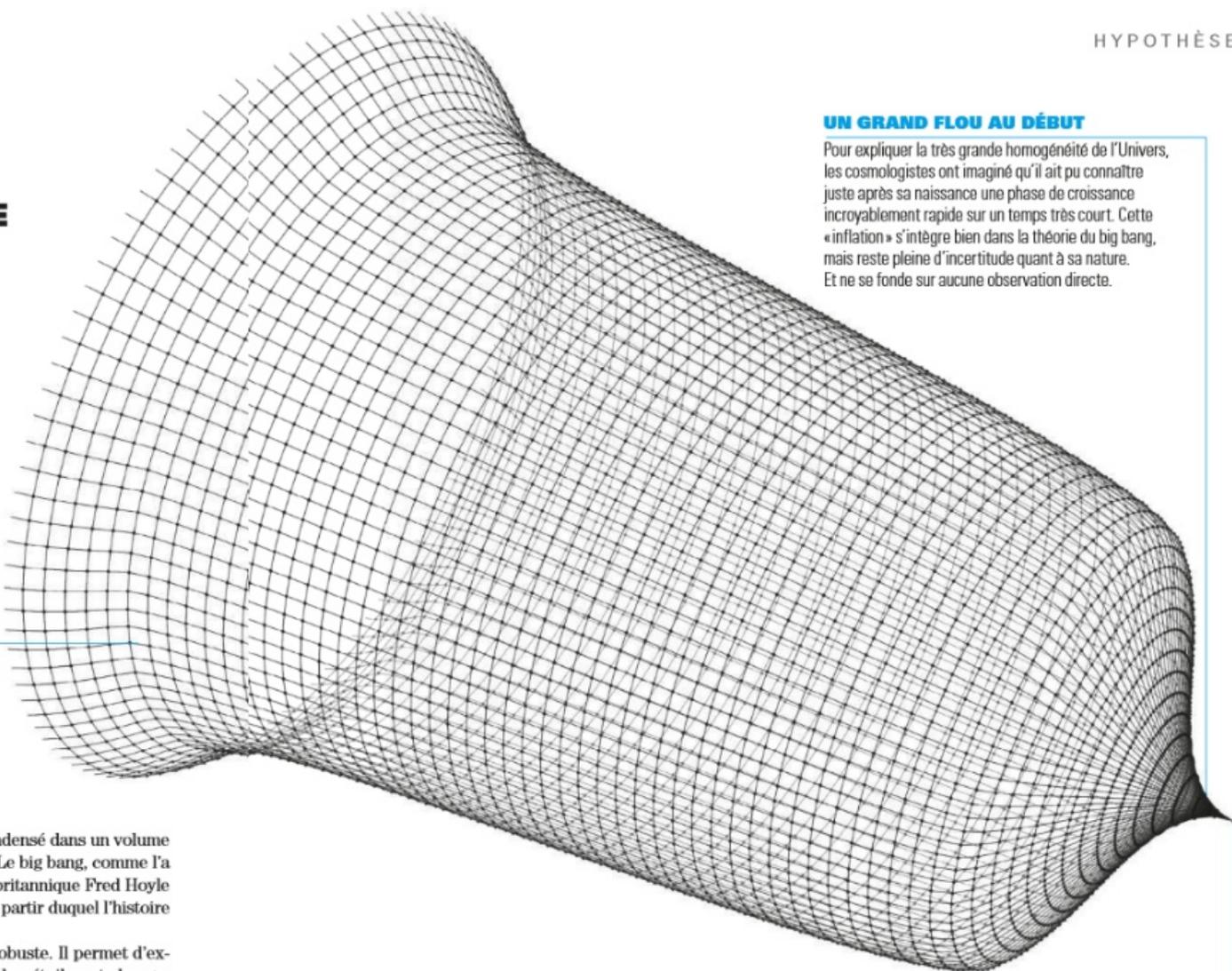
UN MODÈLE TRÈS PUISSANT

Le big bang permet de pro-
duire un récit cohérent de la
quasi-totalité de l'histoire
de l'Univers, depuis la créa-
tion des premières parti-
cules jusqu'à aujourd'hui,
en passant par la formation
des premières étoiles et
des premières galaxies.
Dans ce modèle cosmolo-
gique, c'est simple: notre
monde grandit et se refroi-
dit en permanence.

jusqu'au point où l'Univers était condensé dans un volume
ridiculement petit, dense et chaud. Le big bang, comme l'a
surnommé le premier le physicien britannique Fred Hoyle
en 1949, serait cet instant originel à partir duquel l'histoire
du monde se serait enclenchée.

C'est peu dire que le modèle est robuste. Il permet d'ex-
pliquer la genèse des particules, des étoiles et des gal-
axies. «C'est la relativité générale, pièce maîtresse d'Al-
bert Einstein qui en est à la racine, retrace Bruno Bento,
de l'université de Liverpool. Elle décrit merveilleusement
bien la gravitation et, avec elle, le comportement des
grandes structures de l'Univers.»

Sauf que les astrophysiciens, iconoclastes, suspectent que
ce joli scénario du début n'est peut-être pas le fin mot de l'his-
toire. Car malgré sa redoutable simplicité et son implacable
efficacité, ce «modèle standard de la cosmologie» souffre →



UN GRAND FLOU AU DÉBUT

Pour expliquer la très grande homogénéité de l'Univers,
les cosmologistes ont imaginé qu'il ait pu connaître
juste après sa naissance une phase de croissance
incroyablement rapide sur un temps très court. Cette
«inflation» s'intègre bien dans la théorie du big bang,
mais reste pleine d'incertitude quant à sa nature.
Et ne se fonde sur aucune observation directe.

UNE IMPASSE AU POINT ZÉRO

Si on remonte encore plus loin dans le temps, jusqu'à l'origine,
les équations du modèle dégèrent complètement: des para-
mètres comme la température ou la densité partent à l'infini.
Les cosmologistes sont alors tout simplement incapables de
décrire quoi que ce soit. Et questionnent l'icône: serait-il pos-
sible de se passer de cette origine totalement inintelligible?

GREGOIRE CHAZÉ

3 SCÉNARIOS POUR L'AVANT BIG BANG

SCÉNARIO 1

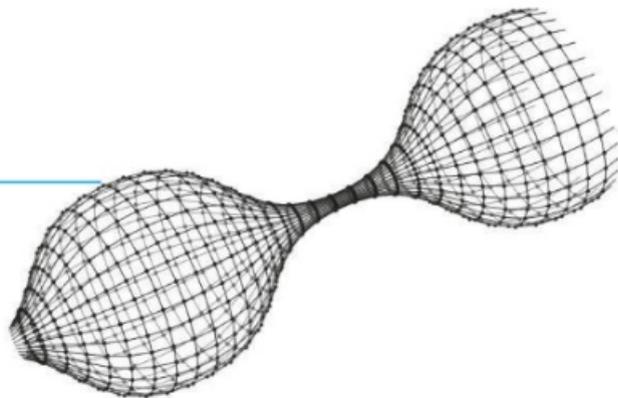
LE REBOND COSMIQUE

Et si notre Univers n'avait pas toujours été en expansion ? Et s'il avait connu auparavant une longue phase de contraction, au terme de laquelle il aurait spontanément rebondi il y a 13,8 milliards d'années ? Ce grand rebond, qui correspondrait à ce que l'on a pris jusqu'ici pour son origine, présente l'avantage d'éviter le passage par la déroutante singularité. Certains poussent cette idée encore plus loin, en imaginant une succession de contractions et d'expansions, entrecoupées d'un nombre infini de rebonds... dans le futur ? Le passé ? Les débats sont en cours.

d'une faille : très efficace quand on le déroule vers l'avant jusqu'à aujourd'hui, il bugue quand on le rembobine trop loin en arrière. À mesure que l'on remonte le cours du temps et que l'Univers se contracte, celui-ci se transforme en une sorte de non-sens physique et mathématique, une « singularité » dans le jargon scientifique : un point de l'espace-temps au sein duquel les grandeurs physiques – température, densité, courbure... – deviennent infinies. Or, aucune théorie actuelle ne permet de décrire cette singularité primordiale, à la fois très massive et très petite.

UNE ÉPINE DANS LE PIED

« Pour comprendre le comportement de l'infiniment petit, les physiciens se permettent généralement d'ignorer la gravitation, très faible à petite échelle, préférant utiliser une autre théorie majeure de la physique du XX^e siècle : la mécanique quantique », rappelle Bruno Bento. Autrement dit, pour décrire correctement la physique de cette hypothétique singularité primordiale, il faudrait pouvoir allier relativité et mécanique quantique. Sauf que pour l'instant, aucune tentative de réconciliation entre ces deux théories fondamentales de la physique ne s'est avérée concluante. Une fâcheuse épine dans le pied des cosmologistes, capables de remonter jusqu'aux prémices de l'Univers, mais qui se retrouvent devant une impasse au moment de décrire l'instant zéro...



SCÉNARIO 2

L'UNIVERS CYCLIQUE

Dans un futur hypothétique, alors que toute la matière serait devenue un pur rayonnement, notre Univers pourrait se rapprocher de sa situation de départ. Tel le phénix renaissant de ses cendres, il se redimensionnerait pour repartir de zéro. Cette renaissance s'appuie sur une opération mathématique appelée « transformation conforme », qui fait correspondre deux systèmes présentant des états physiques similaires. Ainsi, ce que l'on prend pour l'origine de notre Univers serait en même temps sa fin. Et le cycle se répéterait à l'infini.

pour peu que celui-ci ait véritablement existé. Car cette origine ressemble de plus en plus à un mirage. « Ce problème de la singularité peut presque sembler anecdotique, commente Anna Iijas, physicienne à l'université de New York. Mais en réalité, il remet en cause tout ce qu'on sait de l'univers primordial, jusqu'à l'idée même d'un commencement. »

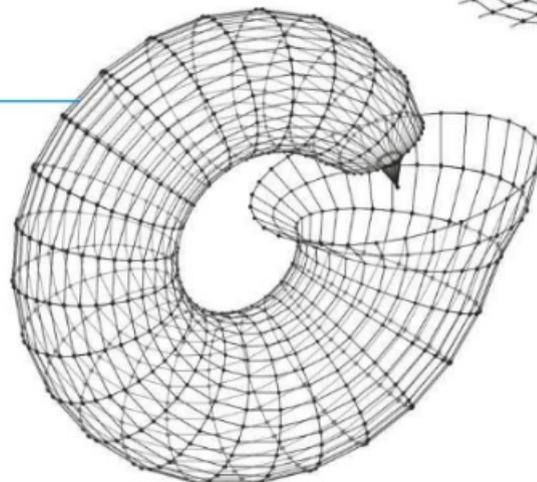
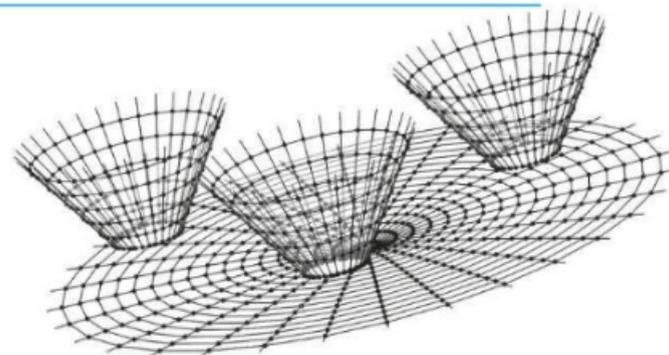
10⁻³³ SECONDE

Beaucoup y voient en fait la preuve que le big bang doit être redéfini. « Pour les cosmologistes d'aujourd'hui, il ne fait plus référence à la singularité, dont ils pensent qu'elle n'a d'ailleurs probablement jamais existé. Le terme désigne plutôt la phase durant laquelle l'Univers était dense et chaud », précise l'astrophysicien Olivier Minazzoli, de l'Observatoire de la Côte d'Azur. Ce big bang chaud ne correspondrait donc plus à l'instant zéro, mais au moment où s'est terminé un

SCÉNARIO 3

L'INFLATION ÉTERNELLE

Ici, la phase de croissance incroyablement rapide qui a présidé au début de notre Univers serait en fait à l'œuvre en permanence dans un macro-univers immensément plus vaste. Et c'est lorsque cette inflation s'arrête net, en certains endroits, que se créent de petits univers comme le nôtre. Ce scénario ouvre la voie à la théorie des multivers : l'inflation engendrerait une multitude de mondes parallèles, qui obéiraient à des lois et constantes physiques différentes.



le vertige : cette phase d'une durée de l'ordre de 10⁻³³ seconde aurait vu l'Univers subitement enfler d'un facteur 10²⁷. Cette fantastique explosion de l'espace-temps dépasse l'imaginable – le mot « inflation » ne donne d'ailleurs pas une bonne idée de cette ampleur. Et elle est censée donner naissance au big bang chaud, à la suite duquel les physiciens sont capables de raconter une histoire cohérente.

UNE PETITE BULLE

Oui, mais cela ne règle pas la question de l'origine. Qu'est-ce qu'il y avait avant cette inflation ? C'est quoi, le vrai début de l'histoire ? « Le concept d'inflation est vite devenu très populaire chez les physiciens. Cependant, il est encore difficile de savoir si cette phase, qui précède le big bang chaud, règle ou non le problème de l'hypothétique singularité », reconnaît Will Kinney. Et ce flou a laissé libre cours à une multitude de visions du début du monde.

L'une des plus radicales est le modèle dit de « l'inflation éternelle ». « On imagine que notre Univers n'est qu'une petite bulle, située au bout d'une branche d'un univers bien plus étendu, et en inflation perpétuelle », présente Olivier Minazzoli. Cette inflation incroyablement rapide serait à l'œuvre en permanence dans ce très vaste univers, mais se stopperait net ici ou là, au sein de quelques branches isolées. Ce qui donnerait alors naissance à une multitude d'univers locaux aux propriétés physiques différentes, dont le nôtre, toujours en expansion, mais

de manière bien plus lente qu'au cours de la phase d'inflation.» Dans ce modèle, pas de singularité pour notre petit Univers-bulle: il serait apparu au moment où l'inflation s'est transformée en expansion. Mais avant cela existait déjà un macro-univers en inflation permanente, qui générerait en cascade une multitude d'autres univers-bulles parallèles au nôtre.

IRRÉDUCTIBLE INSTANT ZÉRO

Dans les années 1980, plusieurs chercheurs ont pensé que cette inflation éternelle pouvait enfin trancher le problème de l'origine du monde: puisqu'elle est éternelle et qu'elle existe depuis toujours, il n'y a donc tout simplement jamais eu d'instant zéro. Jusqu'à ce que, dans un article paru en 2003, Arvind Borde, Alan Guth et Alexander Vilenkin montrent que si l'inflation peut tout à fait se prolonger à l'infini dans le futur, il semble catégoriquement impossible qu'elle soit éternelle... dans le passé. Selon eux, les lois de la physique imposent l'existence d'un instant zéro, y compris dans le cas de l'inflation éternelle. Et donc d'une singularité, que cette communauté de chercheurs peine à expliquer. Retour à la case départ...

D'autres voies tentent de relever le défi des origines. L'une des plus discutées a été esquissée à partir de la « gravitation quantique à boucles », une des tentatives échafaudées depuis les années 1960 pour réconcilier relativité générale et physique quantique. Ici, pas besoin d'invoquer un macro-cosmos beaucoup plus vaste, mais juste un rebond. « Notre Univers aurait pu subir une très longue phase de contraction, jusqu'à atteindre une taille très petite, puis aurait spontanément rebondi, pour s'étendre à nouveau », résume Patrick Peter, l'un des partisans de cette théorie.

Notre big bang serait alors la signature caractéristique de ce rebond ancestral. Lequel ferait disparaître la singularité, puisqu'il surviendrait avant que les paramètres ne montent à l'infini. « Nous imaginons un Univers éternel, présent depuis toujours », poursuit Patrick Peter, qui aurait simplement commencé à évoluer à un moment, en se contractant pour une raison inconnue, et qui s'étendrait depuis ce rebond. Mais quand il se sera, dans un futur lointain, suffisamment refroidi, son expansion pourrait s'arrêter définitivement. »

Depuis le début des années 2000 et les travaux du Néo-Zélandais Peter Lynds sur le sujet, certaines équipes poussent un peu plus loin ces modèles de grand rebond, ou *big bounce*, en imaginant un Univers cyclique, dans lequel se succèdent indéfiniment des phases de contraction et de dilatation, entrecoupées de rebonds. Sans origine donc. « Nous avons mis au point des modèles théoriques qui

fonctionnent avec un nombre illimité de cycles dans le passé et le futur », explique Anna Iijias.

D'autres théoriciens, comme Will Kinney, ne sont pas d'accord: « Nous venons de montrer dans un article publié en mai 2022 que ces rebonds successifs mènent à nouveau, inmanquablement, à une singularité initiale. » Une démonstration qui s'inspire de celle déployée par Alan Guth pour l'inflation éternelle. Et qui ramène à nouveau la cosmologie face au défi de l'origine: à quoi ressemble cette singularité originelle?

“ ON ESSAIE D'AVOIR DE L'IMAGINATION, MAIS LA NATURE EN A PLUS QUE NOUS ”

Françoise Combes, astrophysicienne

à l'Observatoire de Paris, titulaire de la chaire

Galaxies et Cosmologie au Collège de France

C'est dans ce marasme que débarque avec une nouvelle idée Roger Penrose, récompensé par le prix Nobel de physique 2020 pour ses travaux sur les trous noirs. Une solution très élégante, baptisée « cosmologie cyclique conforme », qu'il développe depuis quelques années: l'Univers n'a jamais commencé; tel un phénix, il ne cesse jamais de renaître.

NOUVELLE IMPASSE?

« Ce modèle s'appuie sur certaines similitudes qui existeraient entre le début de l'Univers et son hypothétique futur extrêmement lointain, très dilué et froid, raconte le physicien. On peut en effet supposer que dans un temps très long, toutes les particules possédant une masse finiront par disparaître, transformées en rayonnement pur par le biais de la désintégration radioactive, ou du rayonnement de Hawking. On se retrouve alors dans un monde sans masse, qui ressemble beaucoup à la vision que nous avons des balbutiements de notre Univers lors de sa phase initiale, quand le boson de Higgs n'avait pas encore conféré leur masse aux particules. » Une situation



JULIEN FAURE/OPALE PHOTO

Epsilon : La question de l'origine du monde semble hanter l'humanité depuis la nuit des temps...

Françoise Combes: Oui, et les humains se sont la plupart du temps tournés vers le ciel pour tenter d'y trouver une réponse. Comme en témoigne le disque de Nebra, qui daterait d'environ 1600 ans avant notre ère, et sur lequel on peut voir des motifs représentant le

Soleil, la Lune et des étoiles qu'on soupçonne de symboliser l'amas des Pléiades. L'humain regarde le ciel depuis longtemps, mais il a mis du temps à interpréter correctement ses observations. La cosmologie n'a pris un vrai tournant qu'avec Edwin Hubble, au début du XX^e siècle. L'astronome américain a montré que ce que l'on observait dans le ciel, et que l'on appelait nébuleuses, était en réalité d'autres galaxies semblables à la nôtre. C'est là que nous avons pris conscience de l'immensité vertigineuse de notre Univers.

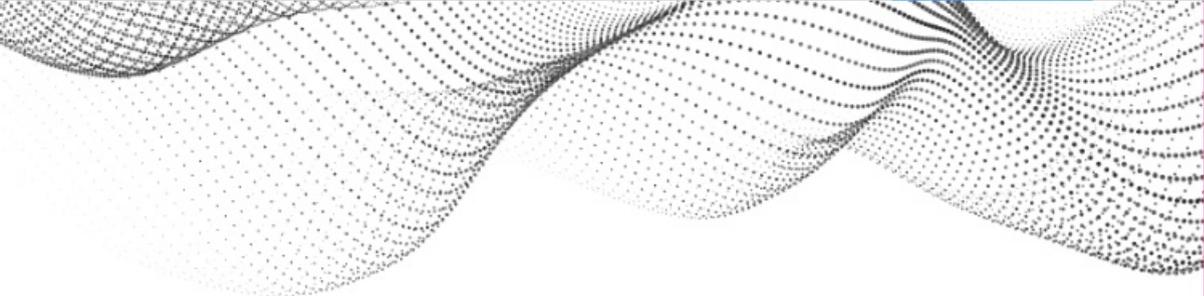
E. : C'est cette découverte qui a abouti à l'élaboration du modèle du big bang. Pour autant, celui-ci n'explique pas tout. Doit-il être remis en question?

FC. : Plus personne ne remet aujourd'hui en cause le fait que l'Univers soit passé par une phase extrêmement dense et chaude à ses débuts. Ce sont les faits, corroborés par de nombreuses observations, comme celles de l'expansion de l'Univers ou du fond diffus cosmologique. Il reste en revanche, c'est vrai, de nombreuses zones d'ombre, comme le problème de la matière noire ou de l'énergie sombre, ou encore le fait que la constante de Hubble-Lemaître, qui décrit le rythme d'expansion de notre Univers, ne prend pas

la même valeur selon la méthode qu'on utilise pour la mesurer. Mais cela ne remet pas en cause le big bang.

E. : Il y a tout de même ce problème de la singularité initiale. Comment le résoudre?

FC. : L'alliance de la mécanique quantique et de la relativité générale permettrait en fin de déterminer le comportement physique de l'Univers extrêmement jeune. Nous avons échafaudé énormément de concepts théoriques, parfois très exotiques. Mais il semblerait que nous ne soyons pas encore tombés sur le bon. Les scientifiques essaient d'avoir de l'imagination, et de dépasser leurs préjugés et leurs représentations. Mais en général, la nature a beaucoup plus d'imagination que nous. Il faut persévérer, ces choses-là prennent du temps...



dans laquelle la notion même d'espace-temps n'a plus vraiment de sens. Or, à travers une opération mathématique baptisée « transformation conforme », Roger Penrose a montré que ces similitudes entre les deux états de l'Univers permettent de considérer, du moins théoriquement, que la fin reboucle avec le début.

« Le big bang serait alors la continuation d'un univers précédent, qui aurait en quelque sorte atteint la fin de son évolution, décrit-il. Dans ce modèle, les cycles se répètent à l'infini. Chaque fois qu'un univers arrive à son terme, tout recommence à zéro. »

Cette alternative à l'inflation éternelle peut conceptuellement se rapprocher du grand rebond, mais sans ses inconvénients, puisqu'elle évite l'écueil d'une embarrassante singularité primordiale. La communauté scientifique a cependant encore du mal à la traduire en un scénario physique concret.

LA PISTE DU TROU NOIR

Une nouvelle impasse? « Le mieux que l'on puisse faire est de tenter de consolider chaque modèle, voir s'ils vacillent ou s'ils se maintiennent », lance Anna Ijjas. Et de continuer à sonder le fond diffus cosmologique à la recherche d'indices, dans l'espoir que cette toute première lumière de l'Univers recèle des traces de son commencement, la signature de l'inflation, ou d'un éventuel univers précédent. C'est au satellite Planck que l'on doit la carte la plus précise réalisée à ce jour. Roger Penrose affirme y avoir repéré des motifs prédits par sa théorie, notamment des figures géométriques en forme d'anneau – la communauté scientifique reste dubitative, dans l'attente de preuves plus convaincantes.

De futurs instruments devraient bientôt dépasser cette résolution. Les chercheurs attendent notamment avec impatience la mise en place du réseau de télescopes de nouvelle génération CMB-S4 et de l'observatoire spatial Lite-BIRD, tous deux en développement et prévus pour la fin de la décennie. « Nous espérons que dans quelques années,

cette collaboration nous permettra de voir les ondes gravitationnelles primordiales prédites dans les modèles d'inflation cosmique », trépigne Will Kinney.

Ils espèrent aussi que les avancées récentes dans la compréhension de la physique des trous noirs leur permettront d'y voir plus clair. Car, au niveau théorique, la naissance de ces monstres cosmiques s'accompagne de la même singularité que lors du big bang. « Nous devons nécessairement être capables de faire des prédictions croisées entre

LA FIN AUSSI ÉCHAPPE À TOUTE PRÉDICTION

Une chose est sûre: non seulement l'Univers n'a cessé de croître depuis 13,8 milliards d'années, mais le rythme de son expansion s'accélère depuis 6 à 7 milliards d'années. Mais comment l'expliquer? Les cosmologistes sont obligés de faire appel à une énigmatique énergie sombre, dont la nature leur échappe complètement, et qui représenterait pourtant près de 70% de la densité totale d'énergie du cosmos. Et d'admettre que le sort à long terme de l'Univers, intimement lié à la nature et au comportement de cette inconnue, leur échappe complètement... Cette accélération de l'expansion se poursuivra-t-elle indéfiniment? Ralentira-t-elle à mesure que l'Univers se refroidit, jusqu'à s'arrêter complètement? Ou, au contraire, la taille de l'Univers atteindra-t-elle un pic à partir duquel il commencera à se contracter? Les prédictions varient en fonction des modèles d'énergie sombre. D'autant plus que depuis quelques années, on doute même de la valeur du taux d'expansion actuel! La constante de Hubble-Lemaître, qui la décrit, fait l'objet d'une intense controverse. « Nous tombons sur des valeurs différentes selon la méthode utilisée pour la mesurer, atteste Françoise Combes, à l'Observatoire de Paris. Cela ravive le débat autour du comportement de cette curieuse énergie sombre. » Il n'y a pas que le début, la fin de l'Univers, elle aussi, est sous tension.

le big bang et un trou noir, si l'on souhaite affiner nos modèles de gravitation quantique », martèle Patrick Peter.

Aucune piste n'est écartée dans l'espoir, un jour, d'éclairer enfin le mystère du grand début. En attendant, on ne sait toujours pas s'il a vraiment eu lieu.

NOS SOURCES

Kinney et al., *J. of Cosmology and Astroparticle Physics* (2022); Ijjas et al., *Physics Letters B* (2022); An et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2020). Retrouvez toutes nos sources sur [epsilon.com/sources](https://www.epilson.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *epsilon*.

GETTY IMAGES - SHUTTERSTOCK



**AU DÉBUT,
IL N'Y AVAIT RIEN.
ENFIN, NI PLUS
NI MOINS DE RIEN
QU'AILLEURS**

Les Shadoks (1968)





L'OBSESSION DES ORIGINES

PAR EMMANUEL MONNIER

C'est devenu une traque existentielle. Et pas seulement chez les généalogistes. Le séquençage ADN bouscule les représentations de la famille. Au point que le législateur entérine aujourd'hui un droit aux origines pour les enfants nés sous X.

80 %

C'est la part des Français qui s'intéressent à leurs ancêtres, selon un sondage Ipsos réalisé en 2010.

35 millions

C'est le nombre de profils ADN détenus, en 2020, par des entreprises proposant à leurs clients de révéler leurs origines ethniques.

4,5 millions

C'est le nombre d'adhérents revendiqués par Geneanet, le premier site français de généalogie.

SHUTTERSTOCK

U'est une petite révolution sociétale, passée pourtant presque inaperçue : depuis le 1^{er} septembre 2022, les enfants nés d'un don de sperme ou d'ovocyte dans le cadre d'une procréation médicalement assistée pourront demander, une fois majeurs, à connaître l'identité du donneur. Tout comme sa situation familiale et professionnelle, ses caractéristiques physiques, les motivations de son don... L'épilogue d'un long combat, car la règle en France, comme dans d'autres pays européens, a longtemps été stricte : cacher l'identité du donneur, dont l'anonymat était garanti et protégé par la loi. Une position devenue de plus en plus fragile avec la montée en puissance d'un « droit à connaître ses origines » revendiqué par des adultes conçus in vitro. *« C'est un débat qui a pris de l'ampleur depuis une vingtaine d'années, avec l'idée que si vous ne savez pas d'où vous venez, cela vous empêcherait de vous construire en tant qu'adulte. Cacher ses origines à un enfant, ce serait lui faire violence »,* observe Sébastien Roux, directeur de recherche en sociologie au CNRS. La loi a fini par trancher en ce sens.

GRATTER LE PASSÉ

La preuve que la traque des origines reste une question existentielle. Et ce ne sont pas les 8 Français sur 10 qui s'intéressent à leurs ancêtres, dont 65% des moins de 35 ans, selon les derniers chiffres de 2010, qui diront le contraire.

Cette traque, qui occupe des bataillons de généalogistes depuis des lustres, avait d'ailleurs déjà trouvé une nouvelle expression avec les tests génétiques proposés par des sociétés privées – basées à l'étranger, puisque ces tests sont interdits en France lorsqu'ils ne sont pas réalisés à la demande d'un médecin ou d'un juge. Profitant des énormes progrès réalisés depuis vingt ans dans les techniques de séquençage du génome, et moyennant une centaine de dollars, ces entreprises séquent votre ADN à partir d'un simple prélèvement de

salive. En comparant cet ADN à celui de populations de référence, le test indique, avec une fiabilité relative, dans quelles régions du monde vivaient vos ancêtres. Avec, cerise sur le gâteau, la possibilité de se découvrir des « matchs », c'est-à-dire des correspondances génétiques caractéristiques d'un oncle, d'une tante ou d'un cousin plus ou moins éloigné qui aurait

confié son ADN à la même entreprise. Ce qui n'est pas si improbable : après quelques années de croissance exponentielle, ces sociétés revendiquaient en 2020 un total cumulé de plus de 35 millions d'ADN différents dans leurs bases.

Mais pourquoi nos origines nous obsèdent-elles à ce point ? À vrai dire, les raisons de gratter le passé sont nombreuses. *« Dans toutes les sociétés occidentales, il existe une sorte d'obsession des origines »,* écrit l'historien et sociologue Michel Wieviorka. *« Nous croyons souvent que si nous savons d'où nous provenons, nous saurons mieux qui nous sommes et où nos enfants iront, reprend-il. Tout ceci repose sur l'idée que mes origines peuvent m'aider à comprendre ma personnalité, mes haines et mes amours, mes idées, mes préférences, mes échecs et*

“
**L'IDENTITÉ SE
CONSTRUIT PAR
LA CAPACITÉ
À METTRE SON
HISTOIRE EN RÉCIT**

”
Geneviève Delaisi
de Parseval,
psychanalyste

mes réussites. » *« Mais qu'est-ce qu'on recherche exactement ? », s'interroge Sébastien Roux. Tout le monde fait comme si c'était évident, alors que ça ne l'est pas. »* Car dans tout récit des origines, il y a de l'objectif et du subjectif. L'histoire d'une naissance reste un mélange d'informations (je suis né ce jour-là, dans telle clinique) et de narration (mes parents m'avaient désiré...), construit avec la sensibilité de chacun.



“
**DANS TOUTES LES SOCIÉTÉS
OCCIDENTALES, IL EXISTE
UNE OBSESSION DES ORIGINES**

”
Michel Wieviorka,
historien et sociologue



UN DROIT AUX ORIGINES
Faut-il privilégier le récit juridique, qui désigne nos parents légaux ? Le récit biologique, qui décrit de quels gamètes précis provient notre ADN ? Ou le récit psychique, librement construit par chacun, dans lequel nous identifions nous-mêmes qui sont nos « vrais » parents ?

UN DROIT AUX ORIGINES

D'ailleurs, faut-il tout dire et tout savoir ? Certains, comme la psychanalyste Geneviève Delaisi de Parseval, prônent la transparence : *« L'identité de tout sujet se construit par la capacité qu'il peut avoir de mettre en intrigue son passé, de traduire son histoire sous forme de récit ; encore faut-il pour*

cela que l'histoire ait un début... Une saine éthique de la reproduction suppose ainsi de pouvoir connaître l'identité de ceux qui ont participé à leur mise au monde », écrit-elle à propos des enfants nés par don de sperme ou d'ovocyte. Pour elle, ces personnes en quête d'origines souffrent surtout *« que quelqu'un (une institution) en sache plus sur leur intimité qu'eux-mêmes »*. Loin de se chercher un nouveau père dans le donneur, ils *« semblent surtout curieux de lui (sa photo, ses motivations, le nombre de ses enfants), cette demande constituant pour eux un moyen de mieux se comprendre et d'étayer leur sentiment d'identité de façon plus stable »*. Mais cette transparence n'est pas sans risque, prévient la psychologue Sophie Marinopoulos : *« Les jeunes adultes qui se lancent dans la recherche de leurs géniteurs se retrouvent souvent face à des personnes qui ne les veulent pas dans leur vie. Leur déception est alors immense. »* Sans compter les révélations potentiellement déstabilisantes.

Si ces débats suscitent tant d'émotions, c'est parce que l'origine, la filiation, est évidemment une question essentielle et →

existentielle. «*La première socialisation, c'est la famille, souligne Laurent Barry, anthropologue et maître de conférences à l'École des hautes études en sciences sociales. On naît dans une famille, qu'on le veuille ou non. Avant même la naissance, les parents reconnaissent leur enfant comme tel, on peut dire qu'il sera son oncle, etc. Cette socialisation vient avant toutes les autres, politiques, communautaires, religieuses...*» Il n'est donc pas surprenant qu'elle nous obsède, et cela depuis fort longtemps. «*Les mêmes questions se sont posées à toutes les époques, observe le chercheur. La seule différence, c'est que la technologie n'interférât pas avec la parenté.*» La technologie, mais aussi la science, a bousculé nos

famille, indépendamment des enfants à naître. Et tout en découlaient», explique Laurent Barry.

Au XVII^e siècle, ce modèle s'effondre sous la poussée de l'athéisme et des idées encyclopédiques des Lumières. «*Les sciences font irruption dans les représentations de la famille. On commence à se poser des questions sur comment on fait physiologiquement les enfants», poursuit l'anthropologue. Spermatozoïdes d'un côté, théories ovistes de l'autre, on comprend que chacun des parents lègue matériellement quelque chose à l'enfant, sans encore trop distinguer la part respective de l'un et de l'autre. Conséquence majeure: «*Il n'y a plus de lien direct entre l'homme et la femme du couple.**

*Ce lien est tissé biologiquement par l'enfant», résume Laurent Barry. La Révolution française entérine cette nouvelle représentation. La génétique ne fera ensuite que préciser la nature du legs biologique qui s'établit entre chaque parent et l'enfant, confortant un modèle qui a pris le pas sur tous les autres. «*Jusqu'à en arriver à l'idée que des tests génétiques puissent démontrer une paternité. Ce qui était inconcevable auparavant, puisque le père était celui qui déclarait être père. Que ce soit dans le modèle romain ou médiéval, la paternité était totalement sociologique», observe l'anthropologue, qui rappelle qu'à Rome, «*dans les familles patriciennes, la majorité des enfants accédant à la succession ne sont pas biologiques, mais adoptés.*» Le renversement de perspective est aujourd'hui total.**

Victoire de la science sur le droit? Pas vraiment. «*La représentation que certains se font du lien biologique n'est pas du tout scientifique, nuance Laurent Barry. Les revendications des enfants nés sous X ou par un don de gamètes sont souvent dictées par des représentations totalement erronées de ce qui se passe biologiquement. Ils vont dire: "Mes parents sont ceux qui m'ont élevé, mais j'ai un don pour la musique, j'aimerais savoir d'où il vient." L'idée que ce que l'on est vient de ce lien biologique persiste, alors que la réalité génétique est beaucoup plus mesurée.*» Quand la quête d'identité se confond avec celle des origines...

NOS SOURCES

Que cherchons-nous dans nos origines? E. Klein, S. Marinopoulos, M. Wiewiorka, avec A. Khalatbari, Boin (2015); *Origines de la vie... vertiges des origines*, sous la dir. de R. Frydman et M. Flis-Trèves, PUF (2009). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilonon*, sauf celles de Michel Wiewiorka, Sophie Marinopoulos et Geneviève Delais de Parseval.

“

CETTE EXIGENCE D'UN DROIT AUX ORIGINES EST LIÉE À LA BIOLOGISATION DE LA PARENTÉ

”

Laurent Barry,
anthropologue à l'École des hautes
études en sciences sociales

représentations de la famille. «*Cette revendication actuelle d'un droit aux origines ne se comprend que par la biologisation croissante du modèle de la parenté», analyse l'anthropologue. Elle est l'aboutissement logique d'un bouleversement qui s'est opéré dès la fin du XVII^e siècle, avec l'abandon du modèle chrétien du couple, installé depuis des siècles.*

«UNE MÊME CHAIR»

À partir du II^e siècle, en devenant chrétien, l'Empire romain avait d'abord rompu avec un modèle familial basé sur le lignage, dans lequel dominait l'idée de clan: l'homme et la femme représentaient leurs clans respectifs, régis chacun par un patriarche qui avait tout pouvoir pour décider qui en faisait partie ou pas. Il lui a substitué l'idée chrétienne de couple, selon laquelle le père et la mère forment par le mariage un tout inséparable et indistinguable, «*une même chair*». «*Ce qui voulait dire que leur enfant serait forcément identique à l'un et à l'autre, puisque les deux parents étaient devenus identiques entre eux. Le couple devenait le fondement de la*



«

JE SUIS TON PÈRE

»

Dark Vader (1980)



RETOUR AUX ORIGINES

À la recherche des fruits archaïques

Sécheresses, prolifération des ravageurs... Les agronomes s'inquiètent de la fragilité de nos cultures hypersélectionnées face au réchauffement. Au contraire de leurs ancêtres, maigres, velues, amères, mais à l'incroyable potentiel génétique. De quoi repartir en expédition. Objectif: trouver les végétaux sauvages qui seront capables, demain, de nourrir l'humanité.

PAR VINCENT NOUYRIGAT

ne racine chétive. Une minuscule baie amère ou légèrement toxique. Un petit fruit horriblement velu ou hérissé d'épines. Une céréale aux allures de mauvaise herbe. Une drôle de gousse remplie de graines immangeables (une banane, ça?!). C'est difficile à croire, mais de plus en plus d'agronomes sont convaincus que ces espèces sauvages un peu rebutantes seront décisives pour assurer la bonne alimentation des 10 milliards d'humains attendus vers 2050... Surtout dans un contexte de changement climatique rapide et de montée en puissance des insectes ou pathogènes qui frappent si fort nos céréales, fruits et légumes. « Faire appel à ces végétaux non domestiqués devrait garantir de meilleures valeurs nutritionnelles, une plus grande résilience face au stress et donc une réduction de l'usage des produits phytosanitaires et des engrais », explique Agustín Zsögön, chercheur en biologie végétale à l'université fédérale de Viçosa, au Brésil.

Rassurez-vous: il n'est pas question de convertir la planète au régime rustique des chasseurs-cueilleurs du paléolithique. Pour les fiers agriculteurs que nous sommes, l'objectif serait plutôt d'injecter un cortège de gènes sauvages dans nos semences industrielles, voire de domestiquer ou redomestiquer des plantes ancestrales grâce aux derniers progrès du génie génétique. Bref, revenir aux origines pour repartir sur de nouvelles bases... « Toutes les cultures actuelles ont des parents ou des cousins sauvages qui pourraient être exploités », se réjouit Sariel Hübner, généticien des populations de l'institut MIGAL, Galilée, en Israël.

« Il est vraiment temps de réintroduire de la diversité génétique dans notre alimentation », clame Agustín Zsögön. De fait, l'état du système alimentaire mondial est plutôt inquiétant: parmi les 80 000 plantes comestibles connues sur la planète, nous n'en cultivons abondamment qu'environ 150, et 70% des calories consommées reposent sur seulement 15 cultures,

toutes plus fragiles les unes que les autres. Ce secteur mondialisé a aussi abandonné ou négligé toutes sortes de céréales ou légumes locaux: la FAO, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, estime que 75% de la diversité cultivée traditionnelle a été perdue au cours du XX^e siècle.

VITAMINES C, E, FER, ANTIOXYDANTS...

« La révolution verte des années 1950 a énormément réduit la biodiversité disponible pour nos croisements », déplore Sariel Hübner. Pis, les variétés modernes que nous consommons ont été essentiellement sélectionnées pour leurs hauts rendements et leur côté pratique. Ce sont des céréales

TROUVER DES ESPÈCES ANCESTRALES PLUS RÉSISTANTES AUX MALADIES

DES POMMES ARCHAÏQUES PLUS ROBUSTES

« Nous avons identifié chez les ancêtres des pommiers des gènes de résistance qui ont été perdus dans les variétés domestiques; on pourrait les réintroduire », imagine Zhangjun Fei, de l'université Cornell. Les vergers sont si sensibles aux pathogènes qu'ils reçoivent plus de 40 traitements phytosanitaires par an, notamment pour les protéger de la maladie de la tavelure, véhiculée par le champignon *V. inaequalis*

qui poussent droit et sans floritures, dont les grains uniformément mûrs ne tombent pas et sont faciles à décortiquer; des aubergines et des tomates devenues jusqu'à cent fois plus grosses que leur taille initiale; des bananes qui ont perdu leurs graines; des concombres ou des pastèques débarrassés de leur amertume; des pommes de terre et des courgettes enfin dépourvues de toxicité. Or, à trop se focaliser sur ces critères, et en maintenant ces végétaux sous perfusion de pesticides, d'engrais et d'irrigation, certains caractères se sont évanouis. Comme la teneur en micronutriments

D'ANTIQUES POMMES DE TERRE AU GÉNOME PLUS RICHE

La pomme de terre d'aujourd'hui a perdu 529 gènes par rapport à *Solanum candolleianum*, son ancêtre sauvage du Pérou, dont ceux impliqués dans la résistance au mildiou — à l'origine de la famine irlandaise de 1845 — ou au nématode à kyste. Contre ce ver parasite, « nous avons exploité une espèce sauvage d'Argentine, *S. vernei* », indique Florence Esnault, de l'Inrae.

DES VIEILLES BANANES QUI COMBATTENT LES CHAMPIGNONS

Le fruit le plus consommé au monde se résume essentiellement à la variété Cavendish, élevée en monoculture intensive et hypersensible aux champignons. Les fléaux de la fusariose et de la cercosporiose noire menacent à tout moment d'éradiquer ces plantations. La solution pourrait venir de bananes sauvages: il y a quelques mois, la Tanzanie a libéré 4 hybrides résistants de Tariban — des bananes à cuire.

— vitamines C et E, fer, antioxydants — et, surtout, la résistance aux bio-agresseurs, à la sécheresse, aux températures extrêmes; « les épines des aubergines sauvages considérées comme gênantes leur permettent en fait de mieux évacuer la chaleur », soupire Rebecca Stevens du Centre de ressources biologiques-légumes, à Avignon. Dans le même temps, les plantes sauvages ou semi-domestiquées ont continué d'évoluer et de gagner en robustesse, soumises chaque année à l'âpre sélection naturelle des nouveaux stress climatiques ou biologiques. D'où l'engouement actuel des généticiens pour

DÉCOUVRIR DES PLANTES SAUVAGES CAPABLES D'AFFRONTER LE RÉCHAUFFEMENT

DES PROTO-TOMATES QUI RÉSISTENT À LA SÉCHERESSE

Les variétés actuelles sont très sensibles à l'aridification des sols, qui s'accompagne aussi d'une teneur croissante en sel. À la différence des spécimens sauvages, comme la *Solanum pennellii* du Pérou, dont les cuticules très cirieuses évitent les pertes en eau. Chez cette espèce, cent gènes environ seraient impliqués dans la tolérance à la sécheresse et à la salinisation.

UN CAFÉ OUBLIÉ QUI SUPPORTE LA CHALEUR

L'arabica ne tolère qu'une étroite fenêtre de températures située entre 15 et 24 °C, et le robusta s'épanouit vers 20 °C. Pas l'idéal en plein réchauffement... Il y a deux ans, des botanistes britanniques ont retrouvé en Sierra Leone l'espèce *Coffea stenophylla*, cultivée à la fin du XIX^e siècle puis abandonnée : cette plante prometteuse pourrait très bien s'accommoder de 30 °C.

retrouver ces trésors cachés dans la nature ou perdus au sein des collections de graines. En explorant par exemple l'arbre généalogique des pommes domestiques, depuis les vastes forêts de pommiers des montagnes du Tian Shan, au Kazakhstan, jusqu'aux essences sauvages européennes, en passant par la Sibérie et l'Iran – une étude vient d'établir un lien de parenté avec l'espèce locale *Malus orientalis*, aux petits fruits acides.

D'IMMENSES BANQUES DE SEMENCES

« Nous collectons auprès de scientifiques beaucoup d'échantillons situés le long de l'ancienne Route de la soie », rapporte Tatiana Giraud, chercheuse au laboratoire Écologie, systématique et Évolution, à Saclay. « De notre côté, nous sommes partis récemment en Nouvelle-Guinée récupérer une espèce de banane sauvage qui pourrait apporter de la diversité à l'omniprésente Cavendish », témoigne Sébastien Carpentier, du Centre international d'agriculture tropicale ; une étude génétique parue en octobre a révélé l'existence de trois ancêtres des bananes actuelles, pour l'instant jamais détectés sur le terrain et peut-être disparus – en tout cas, la quête est lancée.

Même les céréales, pourtant traquées depuis des millénaires, réservent encore des surprises. L'année dernière, des scientifiques sont tombés au Vietnam sur une sous-population de riz sauvage – baptisée Indica-5 – jamais exploitée. « Une nouvelle source de diversité chez des ancêtres du blé tendre a été repérée en Géorgie, et ces espèces pourraient être porteuses de nouveaux gènes de résistance », salve Clément Debiton, responsable du Centre de ressources biologiques-céréales à paille, à Clermont-Ferrand. Les agronomes explorent aussi toutes ces cultures dites orphelines, à peine domestiquées et souvent délaissées... alors qu'elles regorgent de promesses adaptatives. Songez au café *C. stenophylla*, redécouvert en 2020, qui pourrait tailler des croupières à l'arabica ou au robusta ; au pois de plage *V. marina* qui pourrait s'adapter à la salinisation des sols liée aux sécheresses et aux excès de labours ou d'engrais ; aux très nutritifs haricots ailés, aux haricots-riz *V. umbellata* ou aux haricots marama, qui poussent en

Namibie ; ou encore à toutes ces cultures assez confidentielles pratiquées par les fermiers éthiopiens : les fausses bananes ensete et la super-céréale teff – sans gluten, s'il vous plaît.

Outre les expéditions sur le terrain, les chercheurs peuvent compter sur d'immenses banques de semences, comme la collection Vavilov, à Saint-Petersbourg. « Nous détenons à Clermont-Ferrand 450 graines de graminées sauvages *Aegilops tauschii* », se réjouit Clément Debiton. À Avignon, l'Inrae conserve aussi jalousement à –20 °C plusieurs centaines de semences de spécimens sauvages de melons, laitues, aubergines, poivrons et tomates. « En Bretagne, nous tenons une collection d'une trentaine d'espèces apparentées à la pomme de terre », signale à son tour Florence Esnault, de l'Inrae.

CULTURES D'ÉLITE

Sachant que l'univers des possibles est nettement plus vaste, soulève Sarel Hübner : « La plupart de ces collectes d'échantillons ont été réalisées à proximité de routes ou de villages, et sont loin de refléter toute la diversité des espèces ! Il faudrait lancer d'autres explorations... » Cela relève même de l'urgence, à l'heure où de nombreuses menaces pèsent sur ces

UN ANCÊTRE DU BLÉ TENDRE QUI SURVIT AUX CANICULES

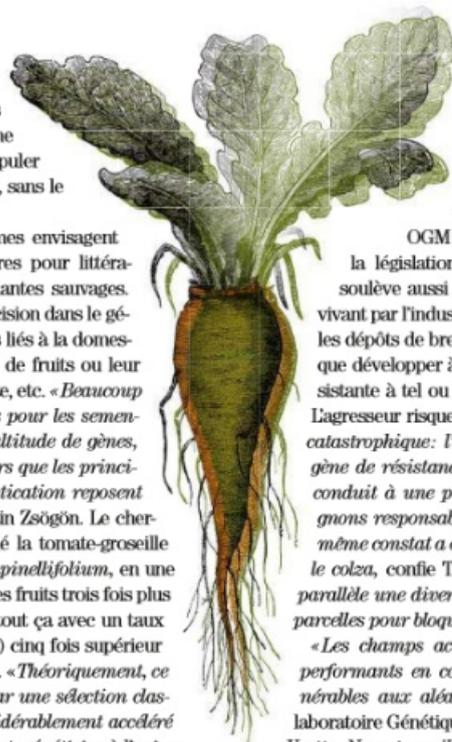
Cette céréale essentielle à la fabrication du pain bloque sa croissance au-dessus de 25 °C. Face à la multiplication des canicules, les agronomes cherchent des résistances chez ses parents sauvages, comme la graminée de la Caspienne *Aegilops tauschii*. « On arrive aussi à exploiter le pool génétique d'espèces apparentées au chiendent », se félicite Clément Debiton, de l'Inrae.

génotypes. Et puis, les nouvelles méthodes d'édition du génome Crispr-Cas9 permettent de manipuler l'ADN avec une précision inédite, sans le fardeau des gènes délétères.

Au point que certains agronomes envisagent d'utiliser ces ciseaux moléculaires pour littéralement domestiquer certaines plantes sauvages. L'idée étant d'introduire avec précision dans le génome d'un végétal quelques traits liés à la domestication – en lien avec le nombre de fruits ou leur grosseur, l'architecture de la plante, etc. « *Beaucoup de traits intéressants recherchés pour les semenciers sont contrôlés par une multitude de gènes, et c'est difficile à manipuler. Alors que les principaux caractères liés à la domestication reposent sur un seul gène* », justifie Agustin Zsögön. Le chercheur brésilien a déjà transformé la tomate-groseille sauvage du Pérou, *Solanum pimpinellifolium*, en une prototypologie prometteuse avec des fruits trois fois plus gros et dix fois plus nombreux; tout ça avec un taux naturel d'antioxydants (lycopène) cinq fois supérieur à celui des tomates du commerce. « *Théoriquement, ce résultat aurait pu être obtenu par une sélection classique, mais Crispr-Cas9 a considérablement accéléré le processus* », admire Pierre Barret, généticien à l'université Clermont Auvergne. « *La domestication prend normalement des siècles ou des millénaires, il nous a suffi de deux ou trois ans, s'enthousiasme Agustin Zsögön. Ce concept de "domestication de novo" est encore balbutiant, mais à mesure que ces outils progressent, il va devenir de plus en plus pertinent pour la sécurité alimentaire mondiale.* »

NOUVEAUX OGM...

D'autres équipes se sont lancées dans la domestication express. Des chercheurs américains ont ainsi transformé des plants rustiques de « cerise de terre », ce fruit jaune décoratif qui apparaît fréquemment sur nos desserts. De façon moins anecdotique, des biologistes chinois planchent actuellement sur la domestication du riz sauvage *Oryza alta* d'Amérique du Sud; une équipe du Minnesota tente, elle, de domestiquer le cresson sauvage pour en faire une culture d'hiver majeure. « *Il y aurait un énorme intérêt à domestiquer les cultures locales négligées des pays du Sud: l'amarante, les poivrons, les pommes de terre semi-sauvages, le taro et l'igname en Asie, le teff et l'ensete éthiopiens, etc. Je sens un potentiel extraordinaire sur le rendement, la résilience, la valeur nutritionnelle* », insiste encore Agustin Zsögön. Sans parler de plantes pouvant servir aux



biocarburants, à la fabrication de fibres ou de caoutchouc.

Cette domestication 2.0 sera-t-elle la prochaine révolution agricole? À voir... Pour l'heure, ces « nouveaux

OGM » sont extrêmement contraints par la législation européenne. L'édition du génome soulève aussi des questions sur l'appropriation du vivant par l'industrie semencière, prompte à multiplier les dépôts de brevets. Et puis, il ne faudrait pas croire que développer à grande échelle une culture enfin résistante à tel ou tel pathogène réglerait le problème... L'agresseur risque de s'adapter. « *Cela peut même être catastrophique: l'introduction dans les vergers d'un gène de résistance venant d'un pommier sauvage a conduit à une plus grande agressivité des champignons responsables de la tavelure. Le même constat a été dressé ces dernières semaines sur le colza, confie Tatiana Giraud. Il faudrait mener en parallèle une diversification au sein des vergers et des parcelles pour bloquer la propagation des pathogènes.* »

« *Les champs actuels sont plantés de clones ultra-performants en conditions optimales, mais très vulnérables aux aléas, complète Isabelle Goldringer, du laboratoire Génétique quantitative et Évolution, à Gif-sur-Yvette. Nous travaillons en ce moment avec des agriculteurs pour introduire au sein des parcelles tout un mélange de variétés anciennes de céréales, comme le blé poulard, que l'on sélectionne petit à petit. Cette diversité donne une forme d'assurance face au stress climatique ou aux bio-agresseurs. D'accord, les rendements ne sont pas énormes, mais ils se maintiennent d'une année sur l'autre.* » Quitte à donner l'impression de revenir aux premières heures de l'agriculture... Cette tendance ira peut-être jusqu'à ouvrir nos champs aux espèces sauvages et à d'éventuelles hybridations spontanées: « *En agriculture vivrière, les paysans tolèrent parfois la présence sur leur terrain de spécimens de manioc sauvage, poursuit la biologiste. On pourrait imaginer de légers flux de gènes vers les espèces cultivées, par exemple de la part de betteraves ou colzas sauvages dans nos contrées.* »

Un recul? Plutôt un retour au paradis perdu des origines, après les excès du XX^e siècle. Et, peut-être, un nouveau départ pour l'alimentation mondiale.

NOS SOURCES

Hamid Bina et al., *Molecular Ecology* (2022); Julie Sardos et al., *Frontiers in Plant Science* (2022); Hong Yu et al., *Nature Communications* (2022). Retrouvez toutes nos sources sur [epsilon.com/sources](https://www.epsilon.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.



«
IL N'Y A RIEN
DANS LA SCIENCE
QUI ENSEIGNE L'ORIGINE
DE QUOI QUE CE SOIT

Lord Kelvin (1900)



LE BERCEAU DES ORIGINES

PAR PIERRE-YVES BOCQUET

*C'est ici que tout
a commencé*

DANS UNE SOURCE HYDROTHERMALE

L'EAU FAÇONNE DES MOLÉCULES COMPLEXES

Tout aurait commencé il y a 4 milliards d'années. Geysers, lacs, cheminées sous-marines... Sous l'effet de son volcanisme effréné, la Terre est criblée de sources hydrothermales, où l'eau chaude rend les éléments dissous plus réactifs. « *L'étincelle de vie d'origine peut avoir commencé dans une petite mare chaude* », prédisait Charles Darwin. L'hypothèse reste d'actualité : les études n'en finissent pas de montrer que des molécules complexes à base de carbone, première étape vers la vie, peuvent se former dans ces environnements.

SOCIÉTÉ NIKON/JPA



SHUTTERSTOCK

AU CŒUR D'UN NUAGE

LES ÉCLAIRS CRÉENT DES PLASMAS ACTIFS

Et si la foudre avait placé les molécules de gaz présentes dans l'atmosphère en dehors de leur état d'équilibre, les incitant à réagir entre elles? « Les éclairs forment un plasma dans lequel les éléments chimiques peuvent se décomposer et se recombinaient différemment », appuie Frédéric Foucher, du Centre de biophysique moléculaire d'Orléans. Dès les années 1950, en créant des arcs électriques dans un mélange de gaz, Stanley Miller avait réussi à former des acides aminés, les constituants de base des protéines. Sauf que la composition exacte de l'atmosphère primitive reste un mystère...

get

essibilité

shots

eb - Fireshot



SUR UNE PLAGE

UNE FÉCONDE SUCCESSION DE MARIÉES

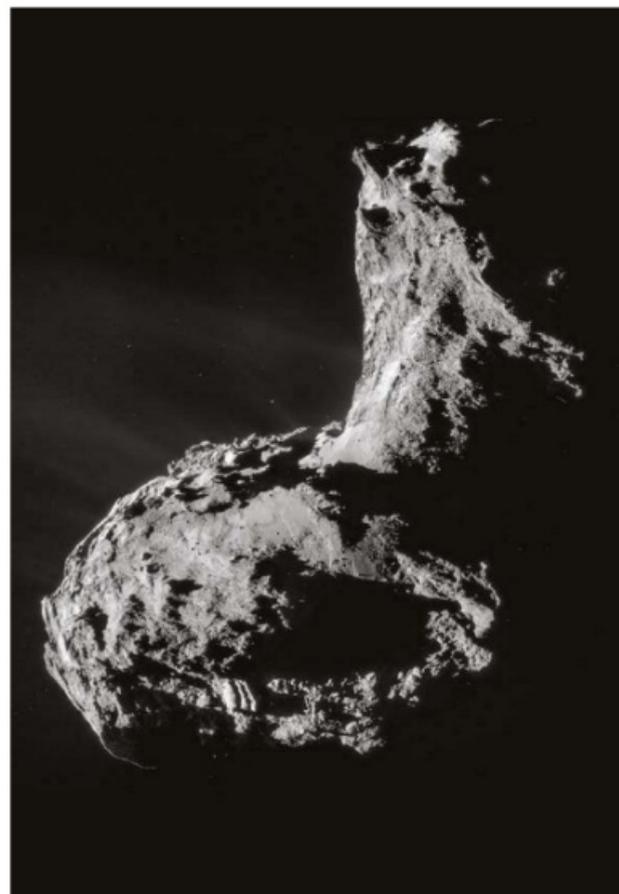
L'eau est indispensable à la vie : solvant miracle qui permet aux éléments de se rencontrer et d'interagir. Mais elle peut aussi empêcher son apparition, car la formation de la plupart des grandes molécules du vivant passe par des réactions de déshydratation, comme la polymérisation, nécessaire à l'apparition des acides aminés. Ainsi est née l'idée que tout aurait pu commencer sur une plage, où la marée réunit ces deux conditions. D'autant que la Lune de l'époque, trois fois plus proche de la Terre qu'aujourd'hui, créait des marées de force et de fréquence bien plus importantes.

SHUTTERSTOCK - SHARONSTANANICAN

A L'INTÉRIEUR D'UN ASTÉROÏDE

UN CREUSET POUR LES ACIDES AMINÉS

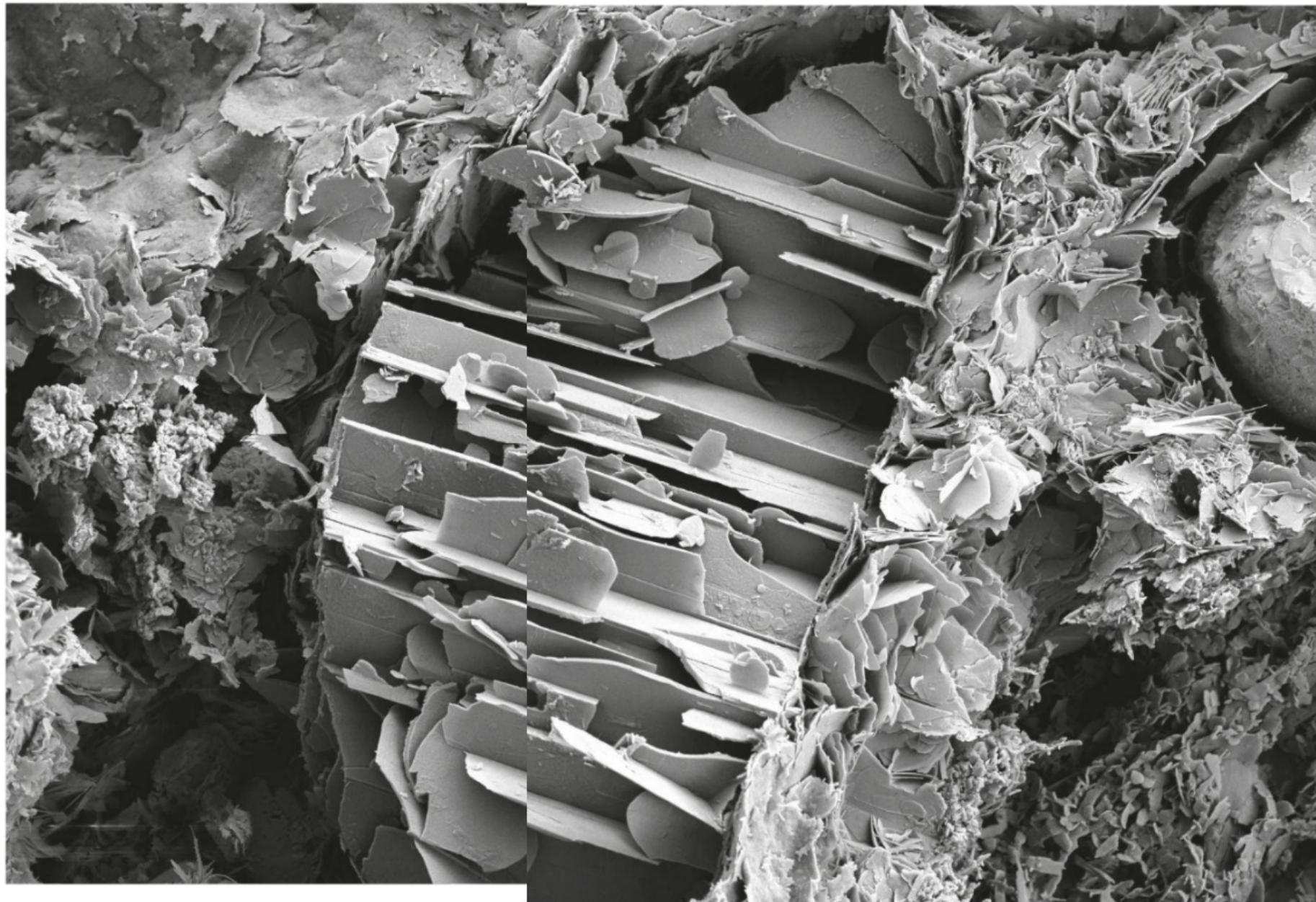
Plus on regarde les astéroïdes et les comètes, plus on découvre qu'ils regorgent de matière organique. Un réexamen publié cet été des données de la mission Rosetta a dévoilé la présence sur la comète Tchouri de 12 molécules prébiotiques, c'est-à-dire utiles à la construction du vivant. Quant aux météorites, en plus de l'eau, elles contiennent des métaux extrêmement rares sur Terre (rhodium, palladium...) reconnus comme de puissants catalyseurs. On y a aussi trouvé tous les acides aminés qui forment les protéines, et les bases azotées qui composent l'ADN.



DANS LES ENTRAÎLLES
DE LA TERRE

LES MINÉRAUX STIMULENT LA BIOCHIMIE

L'intérieur de la Terre n'est pas si inhospitalier : on ne cesse d'y découvrir une foisonnante vie microbienne. Au cœur de ses anfractuosités, de nombreux minéraux ont le pouvoir de favoriser, accélérer ou stabiliser certaines réactions chimiques. Comme la magnétite, un oxyde de fer qui stimule la création de macromolécules carbonées et d'ammoniac. Ou l'argile, qui piège dans ses couches des acides aminés, facilitant ainsi leur concentration. Quant aux cristaux d'arsenic, ils auraient pu stimuler la libération d'énergie des premiers êtres... une sorte de proto-respiration.





SHUTTERSTOCK

DANS UNE GOUTTE D'EAU

LA TENSION DE SURFACE POUSSE LES COMPOSÉS À RÉAGIR

Et si des réactions chimiques improbables pouvaient s'amorcer au cœur d'une simple gouttelette, sans catalyseur ni chaleur pour les initier ? C'est ce que des chercheurs ont montré il y a quelques années : les amines et les aldéhydes, normalement assez peu réactifs les uns avec les autres, s'associent dans une goutte d'eau avec une aisance déconcertante pour former des imines, un composé organique complexe. Explication : les molécules d'eau à la surface de la goutte créent une tension à l'intérieur, qui attire les composés dissous et favorise leur concentration ; et donc leur propension à s'assembler.

SUR LA PLANÈTE MARS

LÀ AUSSI, LES CONDITIONS
SONT RÉUNIES

Le scénario est considéré comme tout à fait crédible par les exobiologistes, même s'il est vrai que ce n'est pas le plus direct. Sur Mars, il y a 4 milliards d'années, toutes les conditions physico-chimiques semblaient réunies pour que la vie apparaisse. Et on trouve sur notre planète des kilos de météorites martiennes... Alors, pourquoi des bribes de vie n'auraient-elles pas pu être emportées au passage? Des expériences récentes viennent d'ailleurs de montrer que des organismes primitifs sont capables de survivre à un tel voyage interplanétaire.



AU CŒUR DE LA GLACE

LA FORMATION
D'ADN
S'ACCÉLÈRE

Même si la Terre était globalement chaude à l'époque, les géologues n'excluent pas que de la glace ait pu se former localement. Avec ses basses températures et un environnement qui ne favorise pas les déplacements, elle ne paraît pas être un berceau idéal. Sauf que les chimistes découvrent que la glace accélère aussi certaines réactions essentielles au vivant, comme la synthèse de glucose et l'assemblage des nucléotides, qui permet la formation des brins d'ADN. Et si elle avait joué un rôle crucial?

TIVOLLIER/CARTERS NEWS AGENCY/SPA - SHUTTERSTOCK

A

quel endroit la vie a-t-elle émergé? « Personne n'a de réponse claire », soupire Joseph Moran, directeur du laboratoire de catalyse chimique à l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires de l'université de Strasbourg.

L'une des seules certitudes dans cette quête pourtant existentielle, c'est que la Terre primitive, née il y a 4,57 milliards d'années, était trop chaude pour accueillir une vie quelconque. Et que les premières preuves incontestées, des fossiles de cyanobactéries, datent de 3,5 milliards d'années. Un proto-organisme rudimentaire est donc sûrement

apparu quelque part autour de 4 milliards d'années. Et la chimie s'est mystérieusement muée en biologie. « On essaie de comprendre comment la Terre primitive est parvenue, dans certains environnements propices, à faire émerger des molécules complexes à partir de molécules simples », résume Frédéric Foucher, responsable du groupe d'exobiologie au Centre de biophysique moléculaire d'Orléans.

FORCE MOTRICE

Les bases de la symphonie du vivant sont connues: sa partition ne fait appel qu'à six éléments chimiques, carbone, hydrogène, azote, oxygène, phosphore et soufre. Atomes que l'on trouve à l'état naturel sous la forme de molécules simples: eau (H₂O), méthane (CH₄), ammoniac (NH₃), diazote (N₂), CO₂... Reste à comprendre comment elles ont fini par former, pas à pas, des composés plus gros, des bases azotées, des acides aminés, des sucres... qui donneront eux-mêmes naissance à des molécules encore plus sophistiquées: protéines, glucides, acides nucléiques, ARN, ADN...

Chaque niveau de complexification nécessite des ingrédients en quantité suffisante, et de bonnes conditions.

« C'est une machinerie complexe dont tous les engrenages doivent tourner à des vitesses compatibles », appuie Robert Pascal, directeur de recherche émérite au laboratoire de physique des interactions ioniques et moléculaires.

« L'inconnue, c'est le processus: quel est le moteur qui a poussé ces éléments à s'assembler? », pointe Joseph Moran. Robert Pascal va dans le même sens: « Si on fait des simulations en prenant toutes les molécules de base existant à l'époque pour les faire réagir aléatoirement entre elles, la probabilité qu'émerge une protobactérie est nulle. Comme, en tant que scientifique, on ne peut pas envisager l'hypothèse d'un créateur externe, il devait forcément y avoir une force motrice qui a favorisé certains processus, l'équivalent d'une sélection naturelle au niveau chimique. Mais laquelle? »

PREMIER « SOI »

Ces processus, on en connaît le résultat: un petit organisme primaire doté d'une membrane fruste qui le distingue de l'extérieur. « La première apparition du "soi" », décrit Joseph Moran. Avec un métabolisme balbutiant grâce auquel il peut puiser dans son environnement ce dont il a besoin pour survivre. Et une génétique rustique lui permettant de stocker de l'information et d'évoluer. Mais comment en est-on arrivé là? « Certains pensent que la génétique est arrivée en premier, avec un polymère qui se développe jusqu'à devenir capable d'autoréplication,

comme l'ARN, ce qui peut ensuite donner naissance à un métabolisme, expose Joseph Moran.

Depuis quelques années, d'autres, dont je fais partie, pensent au contraire que la chimie a d'abord produit un moteur métabolique, un système capable d'auto-organisation interne. » Le dilemme de l'œuf et de la poule dans sa version prébiotique.

« Quand on comprendra le "comment", cela dictera probablement le "où", espère Joseph Moran. En attendant, toutes les pistes sont explorées. »

L'une d'entre elles est probablement le berceau de la vie... À moins, comme le suggère Frédéric Foucher, « qu'elle soit apparue à plusieurs endroits, rien n'est exclu... »



SHUTTERSTOCK



« NOUS SOMMES
DES POUSSIÈRES
D'ÉTOILES »

Hubert Reeves (1984)



BLOCKCHAIN ORIGINE GARANTIE!

***Enquête sur la
techno qui devait
changer le monde***

*Bitcoin, NFT... La révolution blockchain a tout d'une désillusion.
Mais cette techno de certification n'a peut-être pas dit son dernier mot.
Et se répand aujourd'hui, plus discrètement, dans d'autres domaines.*

PAR XAVIER BOIVINET

U

est l'histoire d'un saumon. Il naît dans un élevage du centre de la Norvège, grandit dans une ferme aquacole en pleine mer, est abattu à Eggesbønes. Puis direction Boulogne-sur-Mer, où il sera conditionné avant d'être vendu dans un supermarché français. De telles histoires, le groupe Carrefour en raconte depuis 2018 à qui veut bien scanner le QR code affiché sur certains de ses produits. Leur particularité: elles sont inscrites dans une blockchain. «C'est devenu très classique dans l'agroalimentaire et la distribution», assure Vincent Fournier, responsable blockchain pour IBM France.

Un exemple parmi d'autres, tant cette technologie s'immisce aujourd'hui dans les chaînes logistiques: «Les solutions à base de blockchain ont profité de l'explosion de l'intérêt pour la traçabilité», note Stefano Volpi, cofondateur de la start-up Connecting Food. Et le grippage des chaînes logistiques ces dernières années, notamment avec la crise du Covid, a montré à quel point elle est devenue stratégique. » Transport de conteneurs, industrie automobile, gestion des déchets... «Les solutions sont matures dans ce domaine», abonde Vincent Fournier. La technologie commencerait-elle à tenir ses folles promesses?

GREFFIER 2.0

La saga blockchain a commencé il y a près de 15 ans dans le secteur des cryptomonnaies. Le 31 octobre 2008, exactement: une personne dissimulée sous le pseudo de Satoshi Nakamoto publie un article fondateur décrivant une nouvelle techno qui permettra, quelques mois plus tard, de créer le fameux bitcoin. C'est un nouveau type de programme informatique basé sur la transparence des données: il crée des registres dans lesquels chaque nouvelle écriture est datée et authentifiée. Des «blocs» qui s'accumulent, créant une chaîne qui garde en mémoire l'histoire des écritures et qui, surtout, peut être consultée par tout le monde. Qui a créé quoi et quand? Qui a vendu

LES HAUTS ET LES BAS DU «CYCLE DU HYPE»

La blockchain semble suivre la dynamique erratique, théorisée par la société de conseil Gartner à travers cette «hype cycle», pour décrire les technos émergentes.

2008: NAISSANCE DE LA BLOCKCHAIN

Un inconnu se faisant appeler Satoshi Nakamoto présente le concept de blockchain dans un article. Ce qui donne naissance, dès le début de l'année suivante, au premier bitcoin. L'ère des cryptomonnaies est ouverte.



2015: ELLE ATTEINT «LE PIC DES ATTENTES EXAGÉRÉES»

En moins de 7 ans, la blockchain se hisse au sommet de la vague. «The Trust Machine» titre en une *The Economist*, qui annonce que cette technologie pourrait «transformer le fonctionnement de l'économie». Les espoirs les plus fous sont permis.

2019: AU FOND DE «LA VALLÉE DE LA DÉSILLUSION»

La plupart des projets sont coincés au stade de l'expérimentation. Dur retour à la réalité. Cette année-là, la blockchain dévale la pente.

2022: SUR «LA PENTE DU RÉENCHANTEMENT»

La cryptomonnaie Ethereum adopte un nouveau mode de sécurisation de son protocole moins énergivore. Qui inspire d'autres blockchains et attire de nouveaux utilisateurs. Prochaine étape, le «plateau de la productivité»?

quoi? À qui? De quoi retracer l'origine d'une monnaie ou d'un objet, et toutes les transactions qui le concernent.

Ce qui sécurise la blockchain, c'est qu'elle est dupliquée sur de multiples machines. Elle a été forgée autour d'un principe fondamental inscrit au cœur de son algorithme, celui du consensus: tout bloc d'écriture doit, au préalable, avoir été accepté par tous les acteurs, selon des règles communes. De même que toute modification doit être vérifiée par des machines dont les algorithmes tournent à cette seule fin, avant d'être ajoutée à toutes les copies de la base de données. Un mode de fonctionnement collaboratif, détaché de tout organe de tutelle, qui assure à la fois redondance et authenticité, puisque toute falsification devra être enregistrée sur toutes les machines en même temps, ce qui est considéré comme impossible. Cette décentralisation elle-même est une sécurité contre tout abus de pouvoir: aucun acteur ne peut dominer, imposer ses vues, manipuler les informations dans ses intérêts.

Une sécurité quasi-totale sur Internet? Une méthode d'authentification inviolable? La blockchain trouve très vite ses premières applications. Le bitcoin, mais aussi les NFT, les *non-fungible tokens*, des certificats de propriété reliant des œuvres physiques ou numériques à un propriétaire pour leur conférer rareté et authenticité –avec des prix exorbitants atteints pour certains tweets historiques.

GOUFFRE ÉNERGETIQUE

Au milieu des années 2010, le potentiel de la blockchain semble sans limite. «Les mondes économique et industriel y voyaient un nouvel outil pour développer des applications auparavant inaccessibles», indique Jean-Paul Delahaye, à l'université Lille-I. «Tout le monde voulait la manipuler et faire une preuve de concept avec», se souvient Gérard Memmi, responsable du département informatique et réseaux de Télécom Paris. «Il suffisait de prononcer le mot blockchain

pour que les portes s'ouvrent», s'amuse Stefano Volpi. Cette dynamique est en fait commune à de nombreuses technologies émergentes. Elle a même été théorisée par la société de conseil américaine Gartner sous la forme d'une courbe, le «cycle du hype». C'est pareil à chaque fois, l'invention d'une nouvelle techno commence par déclencher un emballement médiatique, les financements pleuvent... Puis, irrémédiablement, vient la douche froide: les promesses mirifiques tardant à se réaliser, elle tombe dans la «vallée de la désillusion». Avant de s'imposer enfin, souvent plus raisonnablement, remontant la «pente du réenchantement»

«La première bulle spéculative autour de la blockchain a explosé en 2018», se souvient Julien Maldonato, expert en innovation et transformation numérique pour le cabinet de conseil Deloitte. «Les projets irréalistes ont disparu», ajoute Kary Bheemaiah, chez Capgemini Invent. «On a fait tout et n'importe quoi avec la blockchain, alors qu'elle n'est pas utile

Gérard Memmi. «*Son potentiel a été sur-*
stefano Volpi. Il y a eu beaucoup de projets
n'apportait rien, ce qui a fait des déçus.»
 le système commence à dévoiler des failles.
 » par l'Agence américaine de recherche sur
 l'effacement pointait par exemple des vulnérabi-
 lité réussissaient à s'arroger un pouvoir ex-
 du gouffre énergétique. Car Satoshi Naka-
 algorithme sur la « preuve de travail » : pour
 ne qui validera le prochain bloc à inscrire,
 une sur la base de primes, en bitcoins. Il
 permanence la capacité de chaque machine
 blèmes mathématiques, et de récompenser
 rement dit, celui qui aura la plus grosse ca-
 rovoquant une fuite en avant vers toujours
 «*La consommation d'électricité du réseau*
est équivalente à celle de la Suisse, estime
le. Tout génie qu'il soit, Satoshi Nakamoto
sur en choisissant la preuve de travail.»

PERSONNELLES

Le bitcoin divisé par quatre depuis un an et
 l'incertitude de la plate-forme d'échange de
 TX en novembre dernier, on peut se poser
 blockchain peut-elle sortir de la « vallée de la
 monter la « pente du réenchantement » ? Côté
 écoles moins gourmands ont été dévelop-
 la preuve de travail par la preuve d'enjeu,
 il des vérificateurs de confiance plutôt que
 sur leur puissance de calcul. La blockchain à la base d'Ethe-
 reum –deuxième cryptomonnaie après le bitcoin– l'a adoptée
 en septembre 2022. «*Hormis pour le bitcoin, ce problème*
n'en est plus un», tranche Sara Tucci, cheffe du laboratoire
 blockchain au CEA LIST. «*Beaucoup des verrous qui limi-*
taient l'adoption des blockchains sont en train de sauter,
 ajoute Julien Prat, directeur de recherche CNRS à l'École po-
 lytechnique. *Elles vont plus vite, permettent de faire plus de*
transactions à la seconde et gèrent mieux la confidentialité.»

Et de nouveau les projets se multiplient. Dans les chaînes
 logistiques donc. Mais aussi chez EDF, où la blockchain sert
 à certifier aux clients, en retraçant chaque étape de la pro-
 duction, que leur électricité est bien d'origine renouvelable.
 «*Depuis 2021, nous avons quatre clients, des industriels*
et des collectivités locales, qui utilisent ce service», précise
 Gilles Deleuze, coordinateur des activités blockchain à EDF.
 À l'université de Lille, elle a servi à émettre 30 000 attestations
 numériques de réussite pour des élèves diplômés en 2020 et
 2021. «*C'est une première étape vers des services blockchain*
à l'échelle européenne», précise Perrine de Coëtlogon, qui a

supervisé le projet dans l'Infrastructure européenne des ser-
 vices blockchain. Joris Doumouro, chef de projet chez l'expert
 en contrôles de conformité Trace, a, lui, développé avec IBM
 un outil de gestion des déchets des travaux publics, garantissant
 que les industriels concurrents sur un même chantier par-
 tagent bien les informations : «*La blockchain constitue le tiers*
de confiance qui peut les aider à coopérer», explique-t-il. Et
 des pays comme la Géorgie, le Brésil ou le Ghana commencent
 à inscrire leur cadastre dans la blockchain, pour que les pro-
 priétaires de chaque parcelle soient clairement identifiés.

Stefano Volpi est convaincu que ce n'est que le début : «*La*
blockchain va changer le monde. Elle pourrait avoir un

impact aussi révolution-
naire qu'Internet dans
les années 2000.» Mais
 cela se fera progressivement, tempère Georges
 Gonthier, chercheur en in-
 formatique à l'Inria : «*Les*
spéculateurs ont déserté
et les personnes sérieuses
ont des ardeurs plus tem-
pérées.» Selon Julien Mal-
 donato, «*le déploiement*
massif pourrait interve-
nir d'ici cinq à dix ans.»

Les experts prédisent une
 nouvelle ère, où la dématé-
 rialisation passera par la
 blockchain. Un prolonge-
 ment des NFT aux billets
 de spectacle, aux tickets
 de parking... Ce qui promet

l'avènement d'un Web3, où notre identité numérique, cer-
 tifiée par la blockchain, permettrait de gérer nos profils sur les
 sites et réseaux sociaux en toute sécurité, avec la promesse
 d'un meilleur contrôle des données personnelles. «*C'est de là*
que pourrait venir la véritable révolution, estime Sara Tucci.
Des services vraiment nouveaux pourraient émerger, alors
que les applications déployées jusqu'ici, comme dans la tra-
çabilité, sont des améliorations de services déjà existants.»

La techno a décidément de la ressource, et n'est toujours
 pas avare en promesses...

NOS SOURCES

«*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*», S. Nakamoto (2008);
 «*Are Blockchains Decentralized?*», rapport de Trail of Bits pour la DARPA
 (juin 2022). Retrouvez toutes nos sources sur epsiloon.com/sources.
 Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.



UN DÉPLOIEMENT
 MASSIF
 DANS CINQ
 À DIX ANS?



« HEUREUX QUI PEUT
 SAVOIR L'ORIGINE
 DES CHOSES »

» Virgile (1^{er} siècle av. J.-C.)



LA BATAILLE DES ORIGINES

La Chine réécrit l'histoire de Sapiens

Alors que l'origine africaine de l'humain moderne fait l'objet d'un long consensus international, Pékin revendique un tout autre récit, donnant à l'Asie un rôle prépondérant dans son apparition. Une vision teintée de nationalisme, mais soutenue par de nombreuses découvertes archéologiques. Qui laisse sceptiques les scientifiques.

PAR PIERRE MARTIN, À SHANGHAI

▲
Statue de
l'Homme de
Pékin, musée
anthropologique
de Zhoukoudian

DR PICTURE ALLIANCE / ALAMY STOCK PHOTO - GETTY IMAGES

P

ékin, 1992. Chris Stringer achève sa présentation dans le saint des saints, l'Académie chinoise des sciences. Ce paléontologue de renommée mondiale vient d'y donner un exposé sur l'origine africaine de l'humain moderne. Un étudiant se lève alors pour le remercier chaleureusement. Mais après avoir exprimé toute sa gratitude, le scientifique en herbe objecte finalement, sûr de lui : «*Nous savons toutefois que nous descendons de l'Homme de Pékin.* » «*Tout le monde a applaudi, et il s'est rassis.*», raconte le chercheur britannique, encore sous le choc.

CUL-DE-SAC ÉVOLUTIF

Car à l'époque, dans le monde occidental, l'affaire est déjà pliée. Érigée au rang de dogme à partir des années 1980, la théorie du berceau africain de l'humanité bénéficie déjà d'un consensus rare dans la communauté scientifique. Cette théorie affirme que le genre *Homo* a une origine unique, l'Afrique, d'où il est sorti en plusieurs vagues successives. *Homo erectus* d'abord, il y a plus d'un million d'années, suivi de plusieurs autres *Homo*, jusqu'à la dernière vague, il y a environ 100 000 ans. La vague de l'«*homme intelligent*», *Homo sapiens*, qui a conquis le reste du monde, en commençant par l'Europe et l'Asie, où il a remplacé ses cousins archaïques issus des premières sorties d'Afrique – avec quelques hybridations marginales. Avant d'évoluer localement jusqu'à aujourd'hui.

En affirmant qu'il descend de l'Homme de Pékin, un *Homo erectus* très antérieur à *Sapiens*, l'étudiant chinois balaie du revers de la main ce scénario baptisé Out of Africa, en faveur duquel les preuves ne manquent pourtant pas. En particulier les nombreux fossiles que les populations d'*Homo sapiens* ont semés comme des Petit Pouce au fur et à mesure de leurs migrations. Les techniques modernes de datation le confirment sans équivoque : les plus vieux fossiles sont africains ; on ne retrouve en Eurasie que des traces plus récentes d'*Homo sapiens*, laissant peu de doute quant au sens du voyage. Sans compter la pléthore de preuves génétiques.

LA CHINE PROPOSE 2 SCÉNARIOS ALTERNATIFS À LA SORTIE D'AFRIQUE



SCÉNARIO 1 SAPIENS SERAIT NÉ SUR LE CONTINENT ASIATIQUE

La Chine a d'abord développé un scénario multirégionaliste. Selon lequel il n'y aurait eu qu'une seule sortie d'Afrique au lieu des trois principales du modèle classique. Un *Erectus* arrive en Asie il y a plus d'un million d'années, y évolue, donnant naissance aux *Erectus* locaux, dont l'Homme de Pékin, et à des *Homo* semi-archaïques. Des brassages expliqueraient ensuite l'homogénéité du *Sapiens* moderne.

Le problème est que cette théorie fait de l'Asie un cul-de-sac évolutif. Un mouiroir où les formes primitives d'humains seraient de facto venues s'échouer, pour finalement disparaître, remplacées par des migrants en provenance de l'ouest. En Chine, la pilule ne passe pas. La preuve : comme l'illustre la mésaventure de Stringer, l'Homme de Pékin, source d'une grande fierté nationale depuis sa découverte en 1921, est présenté dans la doctrine maoïste comme le



SCÉNARIO CLASSIQUE «OUT OF AFRICA»



SCÉNARIO 2 UN ANCÊTRE DE SAPIENS SERAIT REVENU D'ASIE

Publiée en août dernier, cette toute dernière théorie des navettes postule que la première sortie d'*Homo erectus* vers l'Asie a été suivie, 400 000 ans plus tard, d'un retour en Afrique. Et pourrait donc avoir laissé une trace asiatique dans le génome de nos ancêtres partis conquérir le monde des centaines de milliers d'années plus tard.

père de tous les Chinois, témoin en chair et surtout en os d'une histoire vieille d'au moins un million d'années. «*À l'école, les manuels enseignent aux Chinois qu'ils descendent de lui, rappelle Chris Stringer, qui collabore régulièrement avec ses homologues. C'est une figure clé du récit national.* » Un domaine surveillé de très près par le Parti communiste chinois, aux manettes du pays depuis 1949.

Ce récit alternatif se fonde sur des modèles dits «*multirégionalistes*», en vogue dans la deuxième moitié du XX^e siècle. Ils postulent que les populations humaines se seraient constituées parallèlement en Europe et en Asie, après une ancienne et unique sortie d'Afrique. Les différentes ethnies descendraient ainsi de très vieilles lignées directement issues d'*Homo erectus*, qui auraient évolué de façons indépendantes depuis. Ce qui donne une place de choix à notre Homme de Pékin. Certes, son origine est toujours africaine, mais il se retrouve ici à la souche de toute la lignée chinoise, dont l'origine remonte alors à plus d'un million d'années, au lieu d'environ 100 000 ans.

RHÉTORIQUE NÉORACIALE

Pour Rainer Grün, géochronologiste et professeur à l'université Griffith, en Australie, au moment où la théorie Out of Africa a émergé, ses détracteurs chinois avaient peut-être «*derrière la tête l'idée qu'ils ne voulaient pas venir d'Afrique.* » Le principe d'une origine chinoise est «*indiscutablement une rhétorique néoraciale bien ancrée dans la tradition nationaliste moderne.*», confirme Cheng Yinghong, spécialiste en histoire moderne chinoise à l'université d'État du Delaware, aux États-Unis, dans un article paru en 2017.

En Chine, on se défend de toute idéologie raciste. Mais la présomption d'un biais politique plane sur les débats. Pour Cheng Yinghong, c'est une évidence : l'existence d'un particularisme qui prendrait racine dans l'Homme de Pékin, exprimée par la théorie de l'*Homo sinensis*, sert le nationalisme chinois en «*établissant une lignée commune qui renforce la*

cohésion du peuple chinois en lui conférant incontestablement l'antiquité la plus grande parmi les civilisations du monde». Un courant de pensée dans le droit fil du mantra de la «renaissance» (*fixing*, en chinois) célébré partout dans le pays: celui qui flâne aujourd'hui dans une ville chinoise ne peut manquer ces larges banderoles rouges, omniprésentes sur les bâtiments administratifs, les musées, les écoles, qui font l'apologie du retour de la Chine à la place centrale qui est la sienne au sein de l'humanité.

OUTILS, ARTS, MORPHOLOGIES...

À l'appui de cette théorie de l'*Homo sinensis*, certains paléanthropologues chinois notent une «continuité de caractères morphologiques» entre les humains ancestraux retrouvés en Chine et les populations locales modernes: visage plat, pommettes saillantes, os nasal bas, orbites rectangulaires, etc. Ils s'appuient aussi sur une singularité de l'industrie de la pierre en Asie de l'Est: cette région est marquée par une continuité d'outils en grès quartzeux jusqu'à environ -30000 ans. Un constat qui, pour eux, prouve l'absence de rupture dans la nature des populations indigènes –et qui contraste avec «les évolutions très nettes de la technologie et de l'art européens», observe Antoine Balzeau, paléanthropologue au Muséum national d'histoire naturelle.

Les fouilles archéologiques lancées en Chine depuis les années 1980, dans la foulée du développement postmaoïste du dragon asiatique, ont relancé les débats. Après une longue période d'instabilité politique ayant rendu difficiles l'exhumation, la conservation et l'étude des vestiges humains, l'empire du Milieu rattrape son retard à vitesse grand V. Dali en 1978, Jinniusshan en 1984, Hualongdong en 2014, Xiahe en 2019, Harbin en 2021... En quelques décennies, la paléanthropologie chinoise enchaîne les descriptions de nouveaux fossiles aux caractères atypiques. Mais que faire de toutes ces découvertes? Où les ranger dans l'arbre foisonnant du genre humain et quelles théories confortent-elles?

“
**À L'ÉCOLE,
L'HOMME DE
PÉKIN EST
ENSEIGNÉ DANS
LES MANUELS**
”

Chris Stringer, paléanthropologue, Muséum d'histoire naturelle de Londres

**DES CAMPAGNES
DE FOUILLES MASSIVES**

8800 projets d'excavation en dix ans. C'est le chiffre annoncé en 2021 par l'Administration chinoise de l'héritage culturel. Un chiffre vraisemblable au regard des investissements massifs consentis depuis quelques années par le pays pour remonter la piste de son histoire. En 2016, un article de *Nature* évoquait «des dizaines de millions de dollars déversés chaque année» dans la fouille et l'analyse des traces archéologiques.



**AU SERVICE D'UN
IMPÉRIALISME POLITIQUE**

Le président chinois Xi Jinping fait régulièrement allusion au mythe du particularisme chinois. L'an dernier, à l'occasion du centième anniversaire des débuts de l'archéologie chinoise, il exhortait les scientifiques à «s'efforcer de développer une archéologie aux caractéristiques chinoises [...] et de contribuer à la réalisation du rêve chinois de renaissance nationale».

C'est ici que, malgré de nombreuses collaborations fructueuses entre chercheurs occidentaux et chinois, les dissensions se font les plus fortes. Pour la plupart des Occidentaux, ces nouveaux fossiles sont à rapprocher du fameux Homme de Denisova, baptisé du nom de la caverne de l'Altaï, en Russie, dans laquelle une phalange de doigt et de l'ADN ont été retrouvés entre 2008 et 2010. Ce nouvel *Homo* est aujourd'hui encore entouré de mystère, car aucun fossile suffisamment important pour préjuger de sa morphologie n'a été retrouvé sur place. On sait seulement, grâce à son ADN, qu'il est à ranger aux côtés de l'Homme de Neandertal, dans les humains semi-archaïques, quelque part entre *Erectus* et *Sapiens*.

Dans le cadre de la théorie Out of Africa, les ancêtres de Denisova auraient quitté l'Afrique à l'occasion d'une vague intermédiaire de migrations. Les découvertes

chinoises seraient donc juste la preuve que Denisova s'est aventuré bien au-delà de l'Altaï, cheminant à travers toute l'Asie de l'Est et du Sud-Est.

« HOMME DRAGON »

Un périple qui semble confirmé par des traces d'ADN découvertes à Xiahe, sur le plateau tibétain, et même par une dent retrouvée au Laos. Certains chercheurs, comme Chris Stringer, restent cependant prudents sur le fait de mettre tous ces supposés Denisoviens dans le même panier: «Il est tentant de considérer que la nouvelle lignée du point de vue morphologique correspond à la nouvelle lignée du point de vue génétique, mais nous ne devons pas aller trop vite.» Rainer Grün confirme: «Sans données génétiques, notamment sur la plupart des fossiles chinois, il est très difficile de les inscrire ou non dans une lignée phylogénétique.»

Les Chinois, eux, s'engouffrent dans la brèche. Ils rejettent la primauté de Denisova sur leurs découvertes et préfèrent avancer dans des publications fracassantes l'existence d'une nouvelle «lignée sœur» d'*Homo sapiens*, qui aurait évolué localement. Dans une série de trois articles, le très officiel et traditionnellement conservateur IVPP, l'Institut de paléontologie des vertébrés et de paléanthropologie de l'Académie des sciences de Pékin, revendique ainsi en 2021 la paternité d'une nouvelle espèce d'*Homo*, sur la base d'un crâne dans un état rare de préservation retrouvé à Harbin, dans les plaines de Mandchourie. Et voilà la Chine qui présente au monde *Homo longi*: «l'homme dragon», incarnation, s'il en est, de la puissance chinoise. Daté d'environ 150000 ans, le fossile offre selon les auteurs «une mosaïque» de caractères hétérogènes, dont certains seraient ancestraux, quand de nombreux autres porteraient la signature de la modernité. →

ZHAO JIE B1 / IMAGES/CHINA VIA AP - LIU XIAOLIANG / XINHUA VIA AP - AFP - SHUTTERSTOCK

ZHAO JIE B1 / IMAGES/CHINA VIA AP



Homme de Pékin



Maba



Jinniushan



Dali

Harbin
(Homo Longi)

UNE MOSAÏQUE DE FOSSILES DIFFICILES À INTERPRÉTER

Ces caractères intermédiaires feraient du nouveau groupe un chaînon manquant, précurseur idéal de l'homme moderne chinois : durablement installé dans sa région historique, loin des latitudes proche-orientales, et déjà présent bien avant l'arrivée d'*Homo sapiens* en Asie supposée par la théorie Out of Africa... Un chaînon manquant parmi beaucoup d'autres à venir, espèrent les supporters du multirégionalisme, et qui, mis bout à bout, feraient enfin la démonstration de la continuité phylogénétique entre l'Homme de Pékin, le vénérable ancêtre *Erectus* et le fringant Shanghaien cosmopolite du XXI^e siècle.

Côté occidental, on reste sceptique. Les réactions se font même parfois grinçantes : « *Tous les fossiles présentent, à un certain degré, des caractères archaïques et "modernes" partout dans le monde, s'agace Jean-Jacques Hublin, paléontologue à l'Institut Max-Planck de Berlin. Pour autant, tout le monde n'a pas évolué vers l'humain moderne !* »

Avouons-le, il est difficile de ne pas être suspicieux : la recherche scientifique chinoise ne serait-elle pas sous la

Jinniushan, Dali, Hualongdong, Xiahe, Harbin... Depuis quelques années les descriptions de fossiles d'*Homo* se multiplient en Chine. Datés entre 300 000 et 150 000 ans, ils provoquent de houleux débats en raison de leurs caractères intermédiaires, à la fois ancestraux et modernes. Les tenants occidentaux du modèle Out of Africa y voient des *Homo* semi-archaïques proches de l'Homme de Denisova, découvert en 2010 en Russie. Les chantres chinois du modèle multirégionaliste identifient au contraire des descendants successifs d'un *Erectus* archaïque proche de l'Homme de Pékin, qui aurait évolué sous diverses formes, donnant naissance à de nouveaux *Homo*. Une diversité due à la mosaïque singulière de climats et de reliefs offerte par la géographie chinoise, à même de favoriser localement des évolutions divergentes.

coupe du Parti ? « *Tout ce qui est en Chine doit venir de Chine*, ironise un chercheur occidental, qui préfère rester anonyme. *Et même ce qu'il y a autour !* » Antoine Balzeau assure pourtant que cela ne reflète pas la réalité de sa collaboration avec l'IVPP. « *Nous avons tous des biais* », s'empresse aussi de relativiser Chris Stringer. D'autant qu'au jeu des procès d'intention, tout le monde peut participer... « *En Europe, nous avons déjà retourné toutes les pierres* », observe Rainer Grün. Et voilà qu'en Chine, les fouilles – et le prestige qui va avec – sont

la chasse gardée des paléontologues locaux. De quoi susciter la mauvaise foi dans le camp d'en face ?

D'autant plus que la théorie Out of Africa commence elle aussi à souffrir des assauts du temps. Autrefois monolithique, l'idée de l'origine africaine de l'humain moderne se complexifie au fil des nouvelles découvertes. Et si le berceau de l'humanité débordait un peu d'Afrique ? Et si, par le truchement du Moyen-Orient, l'Asie jouait déjà un rôle plus central que celui qu'on lui prêtait jusqu'alors ? Ces

amendements à Out of Africa, qui émergent depuis quelques années, restent très discutés, mais rompent avec le charme simple et consensuel de la théorie dominante. Une aubaine pour les partisans de la continuité multirégionaliste, dont les arguments paraissent soudain moins farfelus.

ECUME GÉNÉTIQUE

Du moins sur le papier, car il est une bataille que la théorie africaine semble gagner un peu plus nettement à chaque découverte : celle de la génétique. « *L'Afrique est l'endroit du monde avec la plus grande diversité génétique humaine, et ce qu'on trouve ailleurs n'est qu'un échantillon de cette diversité qui s'y est enracinée* », martèle Jean-Jacques Hublin. Ce constat donne à voir un arbre projetant ses branches à travers l'Ancien Monde, mais avec des racines profondément enfouies dans un berceau africain. Toutes les études montrent que le génome de l'humain moderne est plus semblable aux populations *Sapiens* d'Afrique d'il y a 200 000 ans, qu'aux formes archaïques qui parcouraient les latitudes asiatiques et européennes il y a bien plus longtemps.

Un argument déterminant en faveur d'un remplacement de ces populations ancestrales par l'humain moderne africain, qui met donc en bien mauvaise posture les chantres chinois de la continuité. Si les populations divergent depuis si longtemps, comment expliquer un tel degré d'homogénéité au sein de la totalité du genre humain contemporain ? En réponse, les

tenants chinois de la continuité avancent que l'hybridation de chaque population avec ses voisines aurait permis, au fil du temps, aux mutations de se répandre de proche en proche. Dans une publication de 2010, le chercheur de l'IVPP Gao Xing explique ainsi que « *les flux génétiques en provenance d'autres régions [...] jouent un rôle extrêmement important pour empêcher les humains de devenir des espèces séparées* ». Un

vaste métissage, d'est en ouest, puis d'ouest en est, dont l'écume génétique aurait suffi à faire converger tous les génomes humains. Oui, mais quid de la diversité et de la continuité génétiques incomparables des populations africaines ? Avec l'essor de la génétique depuis les années 1990, une telle posture traditionaliste est de plus en plus dure à tenir.

Cette faiblesse de la théorie multirégionaliste, de plus en plus criante, n'a pas échappé à la récente génération

“
LE MODÈLE OUT OF AFRICA N'EST PAS COHÉRENT AVEC LES DÉCOUVERTES CHINOISES

”
Ni Xijun, paléontologue à l'IVPP, à Pékin

de généticiens chinois, née dans les années 1990, qui en pointe les failles. Un conflit larvé sévit en fait depuis quelques années entre ces derniers et les défenseurs de la continuité de l'Académie chinoise des sciences, rapporte Cheng Yinghong. Larvé, car des prises de position trop affirmées ont valu à certains, comme le généticien star Jin Li, aujourd'hui président de la prestigieuse université Fudan à Shanghai, des attaques virulentes dans les médias et sur les réseaux sociaux de la part d'intellectuels nationalistes. Les accusations vont du charlatanisme occidental antichinois, motivé par l'appât du gain, jusqu'à la tentative d'anéantissement pur et simple de la nation chinoise, en passant par la trahison.

Mais ces positions traditionalistes commencent à perdre du terrain. L'ouverture du pays depuis les années 1980 – et le nombre colossal d'étudiants partis travailler sous l'égide de scientifiques occidentaux – a commencé à transformer le paysage scientifique chinois en profondeur. Une petite révolution qui se ressent au sein même de la forteresse multirégionaliste : l'IVPP. Une structure pourtant « *très hiérarchisée* » et « *gérocratique* », selon de proches collaborateurs

de l'institut, où les révolutions de palais ne sont pas monnaie courante. Mais la disparition fin 2021 du plus célèbre des théoriciens multirégionalistes chinois, Wu Xinzhi, véritable star en Chine, pourrait avoir modifié l'équilibre des forces. Ni Xijun, qui appartient à la nouvelle génération de paléoanthropologues de l'IVPP, affiche une position claire sur la continuité: «impossible», tranche-t-il. «Nos recherches soutiennent la théorie Out of Africa.» La fin d'une vision nationaliste? Pas si vite... «Nous nous sommes aperçus qu'elle nécessitait des ajustements», poursuit-il.

Le chercheur repousse catégoriquement l'idée d'un cul-de-sac évolutif en Asie. «Le modèle classique de la théorie Out of Africa n'est pas cohérent avec les enseignements des découvertes chinoises récentes», assure le jeune paléoanthropologue. Selon lui, «il n'y a qu'en intégrant des dispersions nombreuses, et dans plusieurs directions, que l'on peut obtenir la phylogénie» déduite de la morphologie des fossiles et de l'ADN. Autrement dit, la proximité de *Sapiens* avec ses cousins, Neandertal en Europe et *Longi* en Chine, rend peu probable une évolution en vase clos sur le lointain continent africain. Et voilà que lui et ses collègues lui substituent un nouveau modèle de «dispersion par navettes». Un dérivé du modèle Out of Africa dans lequel une vague d'*Homo erectus* migre vers l'Asie il y a 1,8 million d'années, mais effectue une navette retour en Afrique 400 000 ans plus tard, avant que d'autres vagues ne ressortent d'Afrique vers l'Asie et l'Europe.

Les détails de cette théorie ont été publiés en août 2022 par Ni Xijun dans la revue chinoise *Acta Anthropologica Sinica*. Elle s'appuie sur le postulat selon lequel plus deux espèces sont similaires, comme Neandertal en Europe et *Longi* en Asie, moins il est probable que leur ancêtre commun ait une histoire évolutive simple et unique loin des lieux de découvertes des fossiles. Et par conséquent, que l'Afrique pourrait ne pas seulement avoir donné, mais aussi avoir reçu de la diversité humaine, sous forme de migrations dans l'autre sens.

Ce nouveau récit chinois remplace donc bien l'Afrique à l'origine du genre humain. Mais, à y regarder de plus près, il

promet l'Asie au rang de contributeur essentiel à la diversité du berceau de l'humanité, en saupoudrant dès le début de l'histoire du genre *Homo* une pincée de gènes asiatiques – et pourquoi pas chinois, même si ce n'est pas formulé ainsi – dans le bouillonnement d'humains qui a vu émerger *Homo sapiens*.

TRAVAILLER ENSEMBLE

Pour autant, même si elle partage des similitudes avec Out of Africa, pas certain que cette thèse, fondée sur des probabilités de dispersions en fonction de la phylogénie et de la localisation des fossiles, convainque le camp occidental. «Cette méthodologie est répandue en dehors de la paléoanthropologie, mais relativement nouvelle dans les sciences de l'évolution humaine», précise Chris Stringer. Les résultats des simulations sont très complexes et encore difficiles à interpréter.

Pas certains d'ailleurs qu'elle fasse des heureux en Chine, où les ultranationalistes pourraient encore lui préférer le bon vieil ancêtre, l'Homme de Pékin, qu'elle prend à rebours.

En attendant, ces divergences de vues n'empêchent pas chercheurs chinois et occidentaux de collaborer... Aujourd'hui, «les archéologues chinois fouillent plus, et plus longtemps. Ils travaillent aussi davantage avec les Occidentaux», se réjouit Antoine Balzeau, qui loue le respect et l'écoute de ses partenaires. Pour lui, le débat scientifique se

fait sur des bases saines, quand bien même les théories défendues sont différentes. Car chacun espère que de nouvelles découvertes permettront de lui donner raison. Et compte tenu de l'importance pour la Chine des recherches sur son identité – et donc des sommes investies –, beaucoup de questions pourraient bientôt trouver des réponses... Pour finalement donner à la Chine sa juste place dans la grande histoire du genre humain. Quelle qu'elle soit.

NOS SOURCES

Ni Xijun, «Acta Anthropologica Sinica» (2022); Jane Ciu, *Nature* (2016); Cheng Yinghong, *The Journal of Asian Studies* (2017). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilonon*, sauf celles de Cheng Yinghong et Gao Xing.



«
PEU IMPORTE
D'OÙ VOUS VENEZ,
VOUS POUVEZ
TOUJOURS CHANGER*»

Madonna (2005)

* No matter where you've come from,
you can always change

LE CONCEPT À L'ORIGINE L'ORIGINE

***Y a-t-il un objet
mathématique
fondamental?***

Peut-on réduire les mathématiques à une entité première, source de toutes les autres?

Des mathématiciens se questionnent depuis plus d'un siècle, nourrissant à la fois le débat et la créativité de la discipline... en attendant, peut-être, de trouver la réponse.

PAR ROMAN IKONICOFF

SHUTTERSTOCK

4

ont-ils y arriver? Depuis une dizaine d'années, un petit groupe d'esprits, forcément de haut vol, menés par un jeune prodige de 35 ans, l'Allemand Peter Scholze, médaille Fields en 2018, l'équivalent du Nobel en mathématiques, accomplissent des progrès fulgurants dans le programme de Langlands.

Le programme de Langlands? Une sorte de pendant mathématique de la fameuse théorie du Tout fantasmée depuis des décennies en physique, censée décrire l'entité fondamentale à l'origine de tout le monde matériel qui nous entoure, et réunir les théories de l'infiniment grand et de l'infiniment petit posées au début du XX^e siècle. Avec des débats toujours en cours entre physiciens...

Mais la question peut aussi se poser en mathématiques: y a-t-il un concept fondamental? Un objet à l'origine de tous les autres? C'est un

peu l'ambition de ce programme lancé en 1967 par le Canadien Robert Langlands, sans cesse resignifié depuis: tirer des ponts – littéralement des flèches, appelées «foncteurs» – entre les trois grands pans des mathématiques: l'arithmétique, la géométrie, l'algèbre. Ce qui créerait une sorte d'unité organique des mathématiques: les outils imaginés pour explorer la science des nombres entiers (0, 1, 2, 3...), la science des figures (courbes, surfaces...) et celle des relations (groupes, corps, anneaux...) seraient les reflets d'un seul et même concept beaucoup plus abstrait, mais beaucoup plus profond. Une sorte d'instance ultime de laquelle émergeraient les objets et théorèmes peuplant les différents continents de la reine des sciences. Reste à trouver ce concept unificateur...

À l'origine, la question ne se posait pas. Dans le sillage de Platon et de ses disciples, les savants grecs anciens ne se souciaient pas de l'origine de cette chose qu'ils nommaient déjà

les mathématiques (*mathēmata*). «*Ils les voyaient comme une science de la nature*, précise Frédéric Brechenmacher, historien des mathématiques à l'École polytechnique. *La question de leur unité ne se posait donc pas, elle était acquise, garantie par l'existence même du monde.*» Pour eux, les mathématiques, constituées par la science des nombres (*arithmos*) et la science des grandeurs et des figures (*gêmetron*), reflètent le monde, tout comme le font aujourd'hui les sciences physiques: nul ne songe à se demander quelle est la source des lois de la physique – c'est l'Univers, par di!

PARFAIT, ATEMPOREL, UNIQUE...

Pour Platon, la référence est non pas le monde matériel, mais celui des Idéaux – le seul véritable monde selon lui – surplombant et organisant notre réalité imparfaite. Un monde mathématique réel, parfait, atemporel et unique. Les mathématiques sont une, car le monde est un. C'est là l'évidence.

Quelques décennies après Platon, Euclide met pourtant en acte une première œuvre d'unification. Ses *Éléments* relèvent en fait davantage du résumé, en vue de faciliter l'enseignement. «*Il a voulu faire une recension et une classification de toutes les connaissances en géométrie et en arithmétique de son époque*», explique Jean-Jacques Szczeciniarz, mathématicien et épistémologue à l'université Diderot Paris-7. Mais dans son souci de pédagogie, le géomètre grec a fait preuve de génie: «*Il a synthétisé ces connaissances sous une forme tout à fait nouvelle et presque "indépassable"*, appuie le chercheur. *Il a énoncé des principes (postulats) et des règles simples de base (axiomes), à partir desquels l'ensemble des théorèmes se déduisent.*» Cinq postulats et cinq axiomes lui ont suffi à réinventer tous les théorèmes de ses prédécesseurs et à en inventer de nouveaux. Le domaine en ressort axiomatisé, unifié.

Il faudra cependant attendre deux mille ans pour que commence à s'esquisser un véritable acte d'unification, plus profond, plus puissant. En 1637, le Français René Descartes, en appendice de son *Discours de la méthode*, invente ce qui est sans doute le premier pont entre l'algèbre et la géométrie. Avant sa géométrie analytique, les deux domaines étaient séparés: d'un côté, des problèmes avec des figures comme la droite, le cercle ou l'ellipse; de l'autre, des problèmes de relations entre les nombres entiers, symbolisés par des équations telles que $x + y = 2$, ou $x^2 + y^2 = 1$. Descartes les réunit grâce à un système de coordonnées, celui que tous les collégiens rencontrent sur les bancs de l'école: deux lignes orthogonales graduées, telles deux règles se croisant à angle droit.

Le nombre?

Et si l'objet le plus simple était le plus fondamental

Le principe est simple. Un point situé dans le plan est repéré sur l'axe horizontal par la mesure de l'abscisse x et sur l'axe vertical par la mesure de l'ordonnée y , en prenant comme origine des mesures le point de croisement des deux axes, où $x = 0$ et $y = 0$. Dès lors, toute figure tracée sur le plan peut être représentée par une équation à deux variables x et y – par exemple, le cercle de rayon 1 centré sur le point (0, 0) s'écrit $x^2 + y^2 = 1$. Et inversement, toute équation en x et y renvoie à une courbe particulière.

LA PUISSANCE DU GESTE

L'utilité d'un tel pont est énorme. On peut maintenant étudier une figure géométrique en raisonnant à partir de nombres et d'équations. Inversement, on peut envisager des équations à l'aide d'arguments purement géométriques. «*Les ponts permettent de transférer les connaissances d'un domaine vers l'autre, enrichissant les deux simultanément et engendrant beaucoup de nouveautés*», explique Jean-Jacques Szczeciniarz. Plus rien n'empêche, par exemple, d'imaginer des figures géométriques à 4, 5 ou 10 dimensions spatiales, puisqu'il est si facile d'écrire une équation dotée d'autant de variables (x, y, z, \dots). «*Descartes a initié un type d'unification très fécond qui est aujourd'hui courant*», conclut le chercheur.

Mais au salon d'honneur des grands unificateurs, intervient surtout Évariste Galois, un des mathématiciens les plus fascinants. Pas tant parce qu'il trouve la mort en

1832, à 21 ans, dans un duel stupide, mais parce qu'il va montrer toute la puissance unificatrice de l'abstraction.

Le jeune homme s'intéresse à la résolution d'équations à une seule variable, comme $x^2 + 2x + 1 = 0$, ou bien $3x^5 + x^4 - 10x^2 + 7x - 1 = 0$. Et se questionne: existe-t-il une méthode générale qui permette de trouver les solutions? Il n'est pas le premier, le problème traîne depuis des lustres. Des mathématiciens perses, puis italiens avaient déjà tranché le cas général des équations de degré 2 (en x^2), de degré 3 et de

«Dieu a fait les nombres entiers, tout le reste est l'œuvre de l'Homme.» Ce credo du mathématicien allemand Leopold Kronecker place, au XIX^e s., l'objet le plus simple des mathématiques au fondement de la discipline. Mais depuis, l'exigence de devoir faire tenir tout cet édifice à partir du seul concept d'entiers a dû être abaissée pour pouvoir garder la théorie des ensembles, ou pour exprimer les nombres réels, avec une infinité de chiffres après la virgule. Le principe, aujourd'hui, ne repose plus sur les seuls entiers, mais sur des concepts suffisamment intuitifs pour ne prêter à aucune ambiguïté, comme celui d'ensemble fini toujours augmentable. Leur manipulation doit aussi éviter toute référence à l'infini. Un type de système qui intéresse beaucoup l'informatique.

degré 4 au moyen de lourdes formules exprimées en fonction des coefficients de l'équation – des lecteurs se souviennent peut-être avec quelques douleurs de la formule pour résoudre l'équation générale du second degré $ax^2 + bx + c = 0$, avec le calcul du discriminant $\Delta = b^2 - 4ac$... Mais le cinquième degré résiste: existe-t-il une formule générale?

Le génie de Galois prend un chemin original. Fini les calculs: il ne cherche pas à formuler explicitement

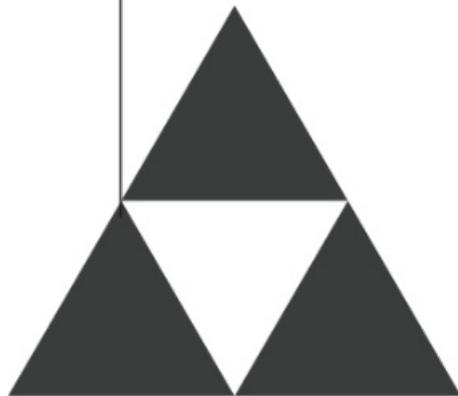
3

8

2

les solutions, juste à comprendre les relations qu'elles tissent entre elles. Plusieurs de ses prédécesseurs avaient déjà remarqué qu'il existe des symétries entre certaines solutions, comme si elles jouaient le même rôle au sein de l'équation. Lui en fait l'analyse systématique: il rassemble dans un groupe toutes ces relations de symétrie entre les solutions. Et démontre que la possibilité de trouver une formule générale pour résoudre une équation dépend de la structure de ce groupe.

Dans le cas des équations générales de degré 2, 3 et 4, pas de problème: le groupe correspondant montre qu'elles sont résolubles – la méthode ne donne cependant pas les formules, par ailleurs déjà connues. Mais, et là est l'incroyable résultat, le groupe correspondant à l'équation générale de degré 5 n'a pas la bonne structure. Sauf cas particulier, les solutions ne peuvent donc pas être décrites par une formule. Eurêka!



Le topos?

Et si l'objet le plus abstrait était le plus fondamental

En quelques lignes de raisonnement, et sans aucun calcul, le sujet est clos: les groupes de Galois unifient tous les travaux effectués depuis des milliers d'années pour résoudre les équations à une variable. Il faudra plusieurs décennies pour que les mathématiciens réalisent pleinement la puissance de ce geste, mais il va changer l'histoire.

DES HAUTEURS JAMAIS VUES

Cette abstraction, les mathématiciens, vont en faire le grand principe unificateur à la fin du XIX^e siècle, sous l'impulsion de l'Allemand Richard Dedekind. Puis c'est un groupe de mathématiciens français se faisant appeler Bourbaki qui mettra le programme en œuvre à partir des années 1920. Au début des années 1950, Bourbaki intègre un jeune chercheur, Alexandre Grothendieck, décédé en 2014. Avec lui, la vision d'une unification par l'abstrait explose littéralement.

«Ce désir d'unification, cette volonté systématique de fondre les mathématiques dans un cadre abstrait général est beaucoup dû à Grothendieck», convient Alexis Bouthier,



Topos? Inventé par le célèbre mathématicien Alexandre Grothendieck, cet objet encode les propriétés essentielles de courbes compliquées sur des espaces très abstraits. C'est actuellement le paroxysme de la montée des mathématiques vers l'abstraction. Une telle généralisation des concepts intuitifs jusqu'à des sommets presque impensables a été impulsée par la théorie des catégories, qui décrit les raisonnements réalisés sur des éléments comme une collection d'objets (catégorie) reliés par des flèches (foncteurs). Ces relations peuvent elles-mêmes devenir une catégorie, et ainsi de suite... Et l'une d'elles, remarquable, est le topos qui, pour certains, représenterait le concept fondamental le plus «unifiant» des mathématiques. L'idée reste cependant très débattue.

à l'Institut de mathématiques de Jussieu. En généralisant la théorie de Galois, Grothendieck porte les mathématiques vers des hauteurs jamais vues. «Il unifie des concepts de géométrie, de théorie des nombres, de topologie et d'analyse complexe», résume Jean-Jacques Szczeciniarz. Et c'est dans ces altitudes grothendieckiennes que s'affaire aujourd'hui Peter Scholze. «Ses

Le calcul?

Et si l'objet le plus pratique était le plus fondamental

Le concept de calcul a longtemps été négligé par les mathématiciens... jusqu'à ce que l'on comprenne sa nature fondamentale: toute démonstration mathématique correspond à un calcul numérique, et vice-versa. C'est le résultat du travail réalisé par Kurt Gödel, puis Alan Turing. Ce dernier a en particulier théorisé la notion de «machine universelle» capable de traduire en calculs tous les raisonnements mathématiques formels. Gödel et Turing ont prouvé que des vérités ne sont pas démontrables, car leur calcul ne s'arrête jamais. Les mathématiques ne se réduisent donc pas à une mécanique aveugle. Depuis, la profondeur du concept de calcul a gagné la physique et fait de l'Univers... une machine à calculer. Des physiciens ont en effet montré que la physique quantique peut être vue comme une théorie de l'information, c'est-à-dire du calcul.



Brechenmacher. C'est un domaine de recherche comme un autre. » Le chercheur fait aussi remarquer que dans tous les programmes d'unification, d'Euclide à Scholze, «on laisse de côté beaucoup de domaines mathématiques». Les probabilités en sont l'exemple type. «Et tout le pan des mathématiques qu'on développe dans d'autres secteurs, comme l'industrie, n'est jamais considéré dans ces projets d'unification», enfonce Norbert Verdier. Pourtant, ce sont bien des mathématiques!

L'IMAGINATION AU POUVOIR

L'abstraction ne va d'ailleurs pas toujours dans le sens d'une unification. «Dans mon métier, on observe que chaque génération développe des outils permettant de regrouper certains résultats découverts par les générations précédentes, outils qui engendrent une nouvelle diversité d'objets, témoigne Alexis Bouthier. Rien ne dit qu'à un moment on pourra tout fondre dans un seul objet très abstrait. Je ne crois pas qu'on s'élève chaque fois à un niveau d'abstraction plus «unifiant». Je préfère parler de niveaux de compréhension de plus en plus profonde. Et il n'y a pas de raison qu'il y ait une fin à cet approfondissement.»

«Ces idées ont façonné ma propre manière de penser les mathématiques et sans aucun doute celle de presque tous les mathématiciens de mon entourage, à un degré impensable», écrit le jeune mathématicien allemand dans *Lectures grothendieckiennes*. Quelqu'un m'a un jour demandé si j'avais étudié des œuvres classiques comme celles de Poincaré, Riemann, Siegel, Weil, etc., ma réponse a été: «Pour moi, les mathématiques ont commencé avec Grothendieck.» Reste à savoir s'il ira au bout du programme...

Cette ambition d'unification à travers des concepts de plus en plus abstraits et fondamentaux ne fait cependant pas l'unanimité. «L'école bourbakiste a perdu son hégémonie aujourd'hui», constate Norbert Verdier, historien des mathématiques à Paris-Saclay. «La plupart des mathématiciens ne s'intéressent pas au programme de Langlands, ni aux avancées récentes, poursuit Frédéric

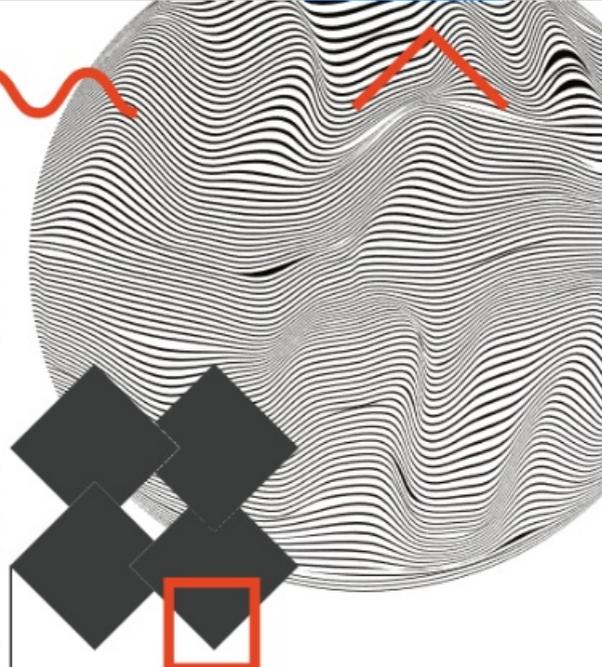
très influent à l'époque sur les mathématiques allemandes. Il défend l'idée qu'on peut les fonder sur le seul concept de nombre entier et des procédures effectives, soit des opérations élémentaires et en nombre fini. Une origine « par le bas », par un ensemble de principes simples qui engendrent toutes les mathématiques, un peu à l'image de l'œuvre d'Euclide. « L'opposition symbolisée par Kronecker contre Dedekind s'est transmise aux mathématiques du XIX^e siècle. Et il n'est absolument pas dit que Dedekind a remporté la bataille! », pointe le chercheur.

UNE ILLUSION...

Il faut dire que cette fin du XIX^e siècle voit une poussée invraisemblable de créativité et de découvertes dans tous les sens, provoquant en réaction un désir de mise en ordre. Des géométries non-euclidiennes sont étudiées, tandis que l'Allemand Georg Cantor invente la théorie des ensembles et nombres infinis – qui choque bien des acteurs de la discipline. Comme un Mai-68 des maths, l'imagination est au pouvoir... au risque pour certains que l'identité des mathématiques, cette sensation d'unité et de cohérence, ne soit détruite. Leopold Kronecker, le plus virulent anti-cantorien, enjoint ses collègues à se limiter aux raisonnements « finitistes », ne s'adossant à aucune pensée ni acte infini, ce qui inspirera d'autres mathématiciens au début du XX^e siècle.

Dans son sillage, certains visent aussi à réduire les mathématiques à la seule logique, qui en serait donc l'origine. Leur difficulté à définir certains concepts incitera d'autres mathématiciens à se focaliser plutôt sur la notion de calculs. « Et Kronecker reviendra en force dans les années 1960-1970, avec le développement de l'informatique où les procédures effectives qu'il prônait sont essentielles », souligne Frédéric Brechenmacher. L'ordinateur pourrait d'ailleurs être vu comme la seule entité matérielle réalisant l'unité des mathématiques à la Kronecker. Et si c'était tout simplement le calcul logique qui unifiait les mathématiques?

À moins, dernière hypothèse, que toutes ces recherches d'une origine commune soient finalement illusoire... « On n'a pas de trace, dans les différentes cultures et époques, d'une volonté générale et systématique de chercher des cadres englobants comme but ultime », remarque François Lè, mathématicien et historien des mathématiques à université Claude-Bernard Lyon-1. Frédéric Brechenmacher est du même avis: « Quand on étudie différentes civilisations, les mathématiques sont presque toujours présentes, mais l'idée d'unification ne l'est quasiment jamais. Même chez les Grecs anciens, il y avait l'idée que certaines pratiques mathématiques sont plus un art, un artisanat en rapport avec les activités d'arpentage et autres. »



Oui, mais alors pourquoi les mathématiciens ressentent-ils tous qu'il existe une unité, quelque chose qui fait l'identité de cette activité humaine? « Cela pourrait découler de l'enseignement », déclare pragmatique Norbert Verdier. Depuis les petites classes jusqu'à l'université, on a des manuels estampillés « Mathématiques » censés regrouper en un seul objet toutes les sous-disciplines. D'ailleurs, le grand débat sur l'unification de la fin du XIX^e siècle coïncide avec « le moment où les mathématiques s'institutionnalisent à l'université, d'abord en Allemagne, puis en France », souligne Frédéric Brechenmacher. Elles deviennent une discipline autonome qui doit affirmer son identité à travers une unification de son enseignement.

L'objet mathématique fondamental serait-il une illusion créée par les manuels et les méthodes d'enseignement? Une seule certitude, la question de l'unité des mathématiques... divisée, écartelée entre l'hypothèse d'une instance abstraite, celle d'un noyau élémentaire, et celle d'un phénomène purement culturel. Un triangle tout en tensions, mais finalement bénéfique, car générateur d'une infinie créativité. En attendant de trouver une réponse... si elle existe!

NOS SOURCES

Frédéric Jaëck (dir.), *Lectures grothendieckiennes*, Spartacus (2021); Jean-Jacques Szczepiniarz et al (dir.), *Géométrie au XX^e siècle*, Hermann (2005). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par Epsilonon.

SHUTTERSTOCK

epsilonon
nouveau magazine d'actualité scientifique

Complétez votre collection



SUR COLLECTION.EPSILOON.COM

ou scannez le QR code ci-dessus



par téléphone

01 87 64 09 62

Du lundi au vendredi de 9 h à 19 h

PORTRAITS DE L'ORIGINE

PLOTIN

À l'origine, il y a l'unité

268

« En chaque chose il y a une forme d'unité vers laquelle on remonte, et cette dernière se ramène elle aussi tout entière à l'unité qui lui est antérieure, unité qui n'est pas absolument une, tant que l'on n'a pas atteint l'absolument un. Celui-ci en effet ne se laisse plus ramener à quelque chose d'autre. »

Troisième Ennéade

POINCARÉ

L'origine est insaisissable

1908

« Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard... Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'approximativement. »

Science et Méthode

DESCARTES

À l'origine, il y avait déjà tout

1644

« Je ne doute point que le monde n'ait été créé au commencement avec autant de perfection qu'il en a; en sorte que le Soleil, la Terre, la Lune et les étoiles ont été dès lors; et que la Terre n'a pas eu seulement en soi les semences des plantes, mais que les plantes même en ont couvert une partie; et qu'Adam et Ève n'ont pas été créés enfants, mais en âge d'hommes parfaits. »

Les Principes de la philosophie

MARC BLOCH

L'origine confond causes et commencement

1943

« Le mot est inquiétant, parce qu'il est équivoque. Signifie-t-il simplement "commencements"? Il sera à peu près clair. Sous réserve, cependant, que pour la plupart des réalités historiques, la notion même de ce point initial demeure singulièrement fuyante. Affaire de définition, sans doute. D'une définition que, malheureusement, on oublie trop aisément de donner. Par origines, entendra-t-on au contraire les "causes"? Il n'y aura alors plus d'autres difficultés que celles qui, constamment (et plus encore, sans doute, dans les sciences de l'homme) sont, par nature, inhérentes aux recherches causales. Mais entre les deux sens s'établit, fréquemment, une contamination d'autant plus redoutable qu'elle n'est pas, en général, très clairement sentie. Dans le vocabulaire courant, les origines sont un commencement qui explique. Pis encore: qui suffit à expliquer. Là est l'ambiguïté, là est le danger. »

Apologie pour l'histoire ou Métier d'historien

PLATON

L'origine copie un modèle

358 AV. J.-C.

« Si le monde est beau et si celui qui l'a fait est excellent, il l'a fait évidemment d'après un modèle éternel; [...] Le monde a donc été formé d'après un modèle intelligible, raisonnable, et toujours le même; d'où il suit, par une conséquence nécessaire, que le monde est une copie. »

Timée

VOLTAIRE

L'origine ne peut être que révélée

1765

« Je sais combien toutes les origines chaldéenne, syrienne, phénicienne, égyptienne et grecque sont obscures. Quelle origine ne l'est pas? Nous ne pouvons avoir rien de certain sur la formation du monde, que ce que le Créateur aura daigné nous apprendre lui-même. [...] Nous savons quelles sociétés se sont établies les dernières; mais pour savoir précisément quel fut le premier peuple, il faut une révélation. »

La Philosophie de l'histoire

37

C'est le nombre de comédies dans lesquelles une IA a, en 2019, traqué des tics d'écriture... permettant enfin d'en finir avec l'idée selon laquelle Corneille aurait été à l'origine d'une partie des œuvres de Molière.

2000

C'est l'âge de l'ADN humain bien préservé que des chercheurs ont réussi, en 2021, à extraire de momies sud-américaines. Un ADN récolté grâce à leurs poux. Ils offrent en effet une protection inespérée contre le temps. Une technique qui ouvre une fenêtre inattendue sur nos origines.

1338

C'est la date d'apparition de la souche de la bactérie *Yersinia pestis* à l'origine de la peste noire, qui décima plus de la moitié de la population européenne entre 1346 et 1353 et causa de multiples épidémies jusqu'au XIX^e siècle. Ses traces ont été retrouvées en 2021 dans des tombes au Kirghizistan.



27 000 000

C'est le nombre de personnes du plus grand arbre généalogique du monde. Des chercheurs d'Oxford l'ont retracé début 2022 à partir de 3601 génomes modernes et 8 anciens, dont le plus vieux remonte à environ 100 000 ans.

LES PETITS CHIFFRES DES ORIGINES



1

C'est le nombre de bases à avoir muté, il y a 500 000 à 5 millions d'années, dans un gène d'un de nos ancêtres, faisant exploser le nombre de ses neurones, et transformant cet individu du genre *Homo* en un *Sapiens*.



1949

C'est la date de sortie du Cluedo, le célèbre jeu d'enquête sur l'origine du crime commis dans le Manoir Tudor, 4^e jeu de société le plus populaire dans le monde, derrière le Monopoly, le Scrabble et le Uno.

100 %

C'est la part des personnes qui pensent que l'origine du sourire énigmatique de la Joconde est le bonheur. Dixit des chercheurs de l'université de Fribourg qui ont soumis les volontaires à plusieurs versions de son expression, plus joyeuse ou plus triste.

152

C'est le nombre d'années qu'il a fallu pour découvrir le nom du modèle de *L'Origine du monde*, le célèbre tableau de Gustave Courbet. D'après la correspondance entre Alexandre Dumas fils et George Sand, il s'agit de Constance Quéniaux, danseuse à l'Opéra de Paris et maîtresse du commanditaire de l'œuvre.

100

C'est l'âge minimal pour qu'une entreprise puisse mettre en avant l'ancienneté de son origine (« fondé en... ») afin d'asseoir son image, selon une étude canadienne auprès de millennials.

18 000

C'est le nombre d'étoiles qui forment le noyau primordial à l'origine de notre Voie lactée, qui vient d'être cartographié par le télescope Gaïa.



40 %

C'est, selon un sondage Gallup de 2019, la proportion d'Américains qui croient que Dieu a créé l'homme sous sa forme actuelle. Contre 22% qui pensent qu'il a évolué sans aucune intervention divine, conformément à la théorie darwinienne.

2MASS 19281982-2640123

C'est le nom de l'étoile qui serait à l'origine du célèbre signal Wow!, capté en 1977 par les traqueurs de vie extraterrestre. Les astronomes viennent de la débusquer à 1800 années-lumière de la Terre.

20

C'est, en points, la différence de taux de réussite au Bac entre des jeunes issus de milieux favorisés (88%) et ceux d'extraction modeste (68%) : le poids des origines.

100



C'est, en millions d'années, l'âge des anneaux de Saturne, elle-même bien plus âgée. Les astronomes pensent qu'ils sont les scories de la fragmentation d'une ancienne lune, qu'ils ont baptisée Chrysalis.

1

C'est l'âge des Coréens à la naissance. Ces derniers ont pour coutume de prendre la date de leur conception pour origine.



10

C'est, en kilomètres, la distance à laquelle le langage sifflé permet de communiquer dans les régions montagneuses. Un mode de communication que certains linguistes pensent être à l'origine du langage parlé.

Adn

n.m. Mot aléatoire. Gènes hérités aléatoirement du père et de la mère permettant à chacun de prétendre à une origine singulière.

Bang

n.m. Mot explosif. Vision de l'origine du cosmos imaginée par un physicien qui n'y croyait pas, en utilisant une image qui ne lui correspond pas.

Luca

n.p. Mot familial. Acronyme anglais de "dernier ancêtre commun universel". Son air de prénom italien veut nous rapprocher de cette origine qui nous unit tous, mais dont on ne sait rien.

Mythe

n.m. Mot fabuleux. Récit des origines, quand l'humain comptait davantage sur son imagination que sur la science. Plutôt synonyme aujourd'hui d'affabulation.

Original

adj. Mot sournois. Fait croire que ce qui s'est passé à l'origine est intéressant. Alors que c'était juste unique.

Poule

n.f. Mot paradoxal. Animal dont le rapport de cause à effet circulaire avec l'œuf symbolise l'impossibilité de trouver l'origine de quoi que ce soit.

Racine

n.f. Mot végétatif. Allégorie botanique pour désigner là d'où nous venons. Et qui laisse penser que ce sont nos origines qui nous font tenir debout.

Science

n.f. Mot générique. Démarche dont l'objet est de trouver une explication à toute chose. L'étude des origines, en somme.

Utérus

n.m. Mot pudique. Berceau organique de la vie des humains et de tous les mammifères, qui garde toujours sa part de mystère.

ABÉCÉDAIRE DES ORIGINES



«
COMME DANS
LA LÉGENDE DU PHÉNIX,
TOUT FINIT PAR
DES COMMENCEMENTS*»



Daft Punk (2013)

* Like the legend of the Phoenix
All ends with beginnings



ARTS & PRÉHIS- TOIRE



Exposition 16 nov. 2022 — 22 mai 2023

MUSÉE
DE L'HOMME

Place du Trocadéro
Paris 16^e
Réservation en ligne
conseillée



KINOSHITA GROUP

LE FIGARO

le Bonbon

philosophie

Télérama

TV MONDE

Marché

RTSP

3

france-tv