

SEP M
TOP
ventes



epsilon | n°62

epsilon

nouveau magazine scientifique d'actualité

n°

62

août
2026



SUPER EL NIÑO

NAISSANCE
D'UN MONSTRE

**CHAMPIGNON,
MOUSSE...**

LE CONCOURS DU
SURVIVOR SPATIAL

TDAH

**AUX ORIGINES
DU TROUBLE**

ÉLECTRONIQUE

VOICI LE MAGNON !

FACE AU CHIEN

GRAND PORTRAIT
EN DATA

MATHÉMATIQUES

L'IA A EU UNE IDÉE

DOM: 7,60€ - BEL: 7,60€ - CH: 11,10CHF - CAN: 10,99CAD
DEU: 9,40€ - ESP/GRC/ITA/PRT: 7,60€ - LUX: 8€ - MAR:
77MAD - NCL: 950XPF - TUN: 14,50TND CPPAP

L 14100 - 62 - F: 6,90 € - RD



MATHÉMATIQUES | SUPER EL NIÑO | SURVIVOR SPATIAL | TDAH | MAGNON | CHIEN

epsilon

Hors-Série
#19

nouveau magazine scientifique d'actualité

Super-simulation

La première Terre virtuelle

TERRE PLATE

Sociologie du complotisme ultime

À LA RECHERCHE DES AUTRES

TERRE

*LHS 1140 b, Trappist-1e, Proxima b...
Les nouveaux eldorados*

Refroidir la Terre ?

La pression des start-up

Gaïa

*Et si la planète
était vivante...*



**VOYAGE DANS
LES ÉCOSYSTÈMES
POST-HUMAINS**

DOSSIER

*L'énigme tectonique,
le casse-tête du noyau,
l'anomalie magnétique,
le mystère de la fin...*

***En vente chez votre
marchand de journaux***



HERVÉ POIRIER
RÉDACTEUR EN CHEF

epsiloon

VIVE LE PAPIER !

Peut-être l'avez-vous remarqué: nous avons changé de papier. Nous restons sur un Norcote Trend –un papier très blanc et lisse, opaque, sans fibres recyclées, fabriqué en Autriche par Norske et certifié PEFC, avec une gestion durable de la forêt. Mais il est plus épais: nous passons de 70 g/m² à 80 g. Nous pensons que cela améliore sensiblement la prise en main et le confort de lecture, et que cela vaut le surcoût –de 1 700 € par numéro pour l'achat de nos 20 tonnes de papier et 1 000 € pour les frais postaux. Si une partie de la presse a vocation à se numériser de plus en plus, en particulier les quotidiens, nous nous sommes lancés il y a 5 ans avec une conviction: le papier,

pour un magazine comme le nôtre, permet d'établir une relation plus profonde, plus apaisée, plus forte. Le papier, ça se conserve, ça se transporte, ça n'a pas besoin d'être rechargé, ça se lit aussi bien à la plage que dans un lit. Ça impose aussi, nous semble-t-il, plus de responsabilités –les mots imprimés sont moins évanescents que des

pixels. Surtout, ça libère votre regard, qui peut se promener sur une double page sans être prisonnier d'un défilement vertical. Et ça libère notre mise en scène, qui peut dès lors jouer avec la titraille, les images, les relances. Oui, nous en sommes convaincus: le papier a de l'avenir !



Epsilon *sur scène*

**Le magazine
fête ses 5 ans
au théâtre !**

Une représentation unique,
avec la rédaction et des invités surprises

Le 13 octobre, à 20 h, au théâtre de la Madeleine, à Paris
À partir de 25 euros



Plus d'informations ici

POUR CE NUMÉRO, EPSILOON A INTERROGÉ

105 scientifiques

dans le monde entier

« Cette démonstration
par une IA fera date dans
l'histoire des mathématiques »

Timothy Gowers,
mathématicien (Royaume-Uni)

lire p. 40

« Les modèles statistiques,
conceptuels, dynamiques,
tout converge... il semblerait
que l'on se dirige tout droit
vers un El Niño d'ampleur »

Julien Boucharel,
climatologue (Nouméa)

lire p. 20

« Le magnon
surpasse de loin
toutes les particules »

Thibaut Devolder,
physicien (Orsay)

lire p. 62

« Aujourd'hui, on réalise
que les plantes ou les
champignons seront
nécessaires à des séjours
de longue durée dans
l'espace »

Eugénie Carnero-Diaz,
botaniste (Paris)

lire p. 66

« La définition exacte du TDAH,
c'est l'inadaptation à la société.
Il faut une sorte de désaccord
entre la demande et la capacité »

Philippe Robaey,
neuropsychiatre (Canada)

lire p. 76

• (voir la liste complète des scientifiques p. 98)

Bravo Epsilon à l'occasion de vos 5 premières années. Je vous suis depuis le début et chaque mois c'est une joie de voir arriver mon exemplaire dans la boîte à lettres. Vous avez su créer un magazine qui donne envie de comprendre le monde plutôt que de le consommer à toute vitesse. C'est précieux.

Joelle Henry, Frahan (Belgique)

Votre article sur les étoiles noires [#61, p. 56] se base entièrement sur le fait que les wimps existent. Or dans votre hors-série sur la mort [HS #8, p. 28], vous aviez pris ces particules hypothétiques comme exemple pour parler de « la mort discrète d'une théorie ». Sont-ils donc vraiment en train de mourir ?

Léo Gourvenec, Internet

Le wimp est en effet en baisse de popularité depuis quelques années, et d'autres concurrents sont en train de se renforcer pour incarner la matière noire. Mais aucune expérience ni observation n'a invalidé l'hypothèse... qui peut donc revenir à la faveur d'une observation, comme celles du télescope James-Webb.

J'ai lu avec intérêt votre article sur l'augmentation des allergies [#60, p. 20]. Vous abordez la présence de plus en plus importante des polluants et particules fines, mais pas la fixation de ces dernières sur les allergènes. Il me semblait pourtant que c'était une cause possible.

François Stel, Saint-Apollinaire

« Votre lecteur a tout à fait raison, répond Nicolas Gaudenzio, directeur de recherche à l'Inserm. Il a été démontré dans des modèles pré-cliniques chez la souris que la fixation de particules de pollution augmentait la capacité des allergènes à induire une réponse inflammatoire, ce qui avait pour conséquence d'augmenter l'asthme. »

La transmission aéroportée des virus respiratoires dont vous parlez dans la question 11 de votre numéro anniversaire [#60, p. 48] n'est pas un mythe. En médecine vétérinaire, ce fait est acquis depuis de nombreuses années. « La transmission au sein d'un troupeau se fait principalement par l'air », souligne ainsi l'Agence nationale de sécurité sanitaire sur son site, à propos de la grippe du porc.

Hervé Morvan, Saint-Brieuc

Vous avez raison de souligner la clairvoyance des vétérinaires. Même s'il y a sans doute des différences entre espèces sur les voies de transmission d'un virus similaire, ce décalage entre la médecine humaine et non-humaine est étonnant.





La réponse catégorique faite à ce pauvre Jawad dans le numéro 56 (« Pas de goodies, juste des magazines ») m'a fait sourire. Il y a quelques mois, lors de ma réception mensuelle, j'ai pourtant eu la surprise de découvrir un petit bout de carton jaune. Depuis, ce précieux marque-page ne quitte plus mes lectures. Bref, Jawad, ne désespère pas : les goodies *Epsilon* existent, et en découvrir un au milieu de son magazine illumine la journée !

Marc Mollaret, Chauffailles

Dans votre dernier numéro, une justification de la barbarie contemporaine de notre société par une atténuation de celle des barbares d'antan [#62, p. 70]. On espérait forcément qu'*Epsilon* redeviendrait le *Science & Vie* historique, si fortement focalisé sur la science, et il dérive toujours plus selon des marqueurs non-scientifiques. Rédhibitoire, malheureusement...

Un lecteur anonyme

L'article en question se fonde sur de toutes nouvelles analyses génétiques, qui nous ont semblé d'autant plus intéressantes qu'elles remettent en cause des clichés tenaces. Sachant que, comme dit chaque mois en couverture, nous nous voyons comme un « nouveau magazine scientifique d'actualité », pas seulement comme un « nouveau magazine d'actualité scientifique ».

Rectificatif

Une erreur chimique : contrairement à ce que nous avons écrit dans notre labyrinthe du #60, les silicones ne sont évidemment pas des produits issus du pétrole mais du silicium – même s'il faut aussi du méthane et beaucoup d'énergie. Une horreur biologique : dans notre question du dossier anniversaire sur la transmission de la grippe, la tuberculose n'est évidemment pas un virus, mais une bactérie – avec la rougeole et la varicelle, elle fait bien partie des trois maladies infectieuses dont la transmission est reconnue comme aéroportée par l'OMS. Et une gaffe géographique dans un Fil d'actus du #61 : la Zambie, où est en train de naître un nouvel océan, n'est évidemment pas en Afrique de l'Ouest. Tout cela est très embarrassant, évidemment.



TDAH **76**

Magnon **62**



40 IA



66 Survivor

epsiloon

Pour écrire à la rédaction:
redaction@epsiloon.com

La rédaction

Yvonne Diraison, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Hervé Poirier (rédaction en chef), Muriel Valin (adjointe), Gabrielle Antoniewski, Pierre-Yves Bocquet, Fiorenza Gracci, Valérie Greffoz, Roman Ikonicoff, Clémentine Laurens, Alexandra Pihen, Jean-Baptiste Veyrieras (rédaction), Anne Riera (cheffe d'édition), Hélène Colau, Bruno Levesque (édition), Léa Desrayaud (infographie), Stéphane Aubin (icono), Valérie Samuel (maquette)

Avec: Noé Bente, Simon Devos, Marie-Catherine Mérat, Émilie Rauscher, Louane Velten

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

Appelez-nous pour vous abonner ou pour toute réclamation /modification
Mail: abonnement@epsiloon.com

Courrier: Vivetic - Epsilon - 127 rue Charles-Tillon - CS 80021 93308 Aubervilliers Cedex
Toutes nos offres: boutique.epsiloon.com
Abonnement annuel: 59 € (12 n°) ou 82 € (12 n° + 4 hors-séries)

Ventes au numéro (réservé dépositaires et marchands de journaux): Isabelle Alliaume (directrice des ventes), diffusionmdj@uniqueheritage.fr Distribution: MLP

Abonnements: Sandrine Diers (directrice marketing, abonnements et e-commerce)

Publicité: MEDIAOBS: C. Rougé (dir.gén.): 01 44 88 93 70 - crouge@mediaobs.com; S. Kirchthaler (dir.com.): 01 44 88 89 02 - skirchthaler@mediaobs.com; C. Gilles (dir. pub.): 01 44 88 89 03 - cgilles@mediaobs.com
Fabrication: Créatoprint, 0671724316
Impression: Boccia Industria Grafica S.p.A, Salerne, Italie
Origine du papier: Autriche

Taux de fibres recyclées: 0%
Eutrophisation
Ptot: 0,014 kg/t
PEFC

ACPM

PEFC

UNIQUE HERITAGE MEDIA

Epsilon est édité par It Is Not Rocket Science, SAS, 37 rue de Bellefond, 75009 Paris

Actionnaire: Unique Heritage Media
Président et directeur de la publication: Emmanuel Mounier
N° ISSN: 2800-4736
Commission paritaire: 0723K94627
Dépôt légal: à parution

Une publication du groupe



Photos: Couv.: Getty Images; p.10-11: Shutterstock - Inter. Gemini Obs./NOIRLab/NSF/AURA - IBM - ESA/Co-pernicious; p.12-13: TU Wien - A.Dowsett/Health Protection Agency/SPL - Shutterstock - D.Ducros - IA/Novapix; p.14-15: Haolun/A.Tian, allensgallery.ca; p.16-17: M.T.Khan/Univ. of Limerick/Carbowawe - R.Deliz-Aguirre/MDC - Dr.G.Quiroga Artigas; p.18-19: N.Bay/Courtesy of The Wilderness Project - M.Delens/Univ. de Liège

Ce numéro comporte une offre de réabonnement. Ce numéro comporte une offre d'abonnement sur les exemplaires destinés aux kiosques en France métropolitaine. Ce numéro comporte une paire de lunettes éclipse sur une partie des exemplaires, destinés aux nouveaux abonnés. Ce numéro comporte un magazine *National Geographic* sur certains exemplaires destinés aux CDI.

10

FIL D'ACTUS

14

EN IMAGES

20

L'ENQUÊTE

**SUPER EL NIÑO :
COMMENT LE MONDE
SE PRÉPARE**

28

ATLAS

Comment la nuit s'éclaire

30

CONTRE-PIED

«Non, la chaleur ne rend pas agressif»

32

ANALYSE

**Le cannabis médical
est-il vraiment efficace ?**

36

C'EST DANS L'AIR

Quand on annonce la vie artificielle

38

BIG DATA

**La population
des trous noirs**

40

LE DOSSIER

**MATHÉMATIQUES :
L'IA A EU UNE IDÉE**

54

DATA

Face au chien

62

ÉLECTRONIQUE

Voici le magnon !

66

MOUSSES,
CHAMPIGNONS...

**Le concours de l'extrême
survivor spatial**

72

IL Y A 35 000 ANS

La première écriture ?

76

TDAH

Aux origines du trouble



**POP,
SCIENCE**

85

FUN FACTS

Chênes, diamants, langoustines,
caresses, mont Fuji, dé, constante
de gravitation, jazz...

88

CULTURE SCIENCE

Éclipse : le grand spectacle
scientifique

90

INSTANT GEEK

Un robot hyper-symétrique ;
un duvet en graphène ; du bois qui
isole du feu ; un taxi pour avion ;
un traceur en temps réel...

94

LIFE

S'autocensurer, marcher plus de
10000 pas, sentir la testostérone,
faire la grasse matinée, tomber
amoureux deux fois et parler de
tout et de rien.

96

Dans la machine

Les articles auxquels vous avez
échappé.

epsilon &
S'ASSOCIENT



**RETROUVEZ-NOUS DANS L'ÉMISSION
LA SCIENCE COFD DE NATACHA TRIOU**

Fil d'actus

Par la rédaction

Les coraux ont des cycles hormonaux

« Ils sont très similaires à ceux des humains, s'étonne Chen Azulay, expert biomédical à l'université de Jérusalem. Pendant trois ans, nous avons suivi les taux d'œstrogène et de progestérone chez un corail de la mer Rouge : son calendrier hormonal s'avère extrêmement précis et régulier. » Les chercheurs ont également constaté que le centre d'une colonie produit près de six fois plus d'œufs que ses branches périphériques.



Premier procès pour obsolescence programmée

L'accusé est le fabricant d'imprimantes Epson. Il lui est reproché devant le tribunal correctionnel de Nanterre d'avoir délibérément bloqué l'utilisation de ses cartouches alors que leur contenu en encre n'était pas épuisé, et d'avoir incité au changement de ses tampons encres encore en état de fonctionnement. Selon l'association Halte à l'obsolescence programmée, à l'origine de la plainte, « ce procès est le premier au monde pour ce type de délit ».

Les moustiques apprennent vite à aimer le répulsif

Il a suffi de pulvériser en laboratoire trois fois le DEET, le répulsif chimique de référence, après trois repas à base de sang chaud ou de sucre, pour que la réaction des moustiques tigres passe d'un évitement inné à une réponse guidée par l'appétit. Redoutable flexibilité mentale !

C'est prouvé : le trauma a bien son biomarqueur

Dans *Epsilon* #5, nous mettions à l'honneur la découverte de la protéine du trauma chez la souris. Et nous l'évoquons comme témoin potentiel du trouble de stress post-traumatique chez l'humain. « C'est désormais prouvé chez d'anciens soldats, se félicite Jean-Michel Revest. Et les essais cliniques commencent chez la souris. »

3I/ATLAS a 12 milliards d'années !

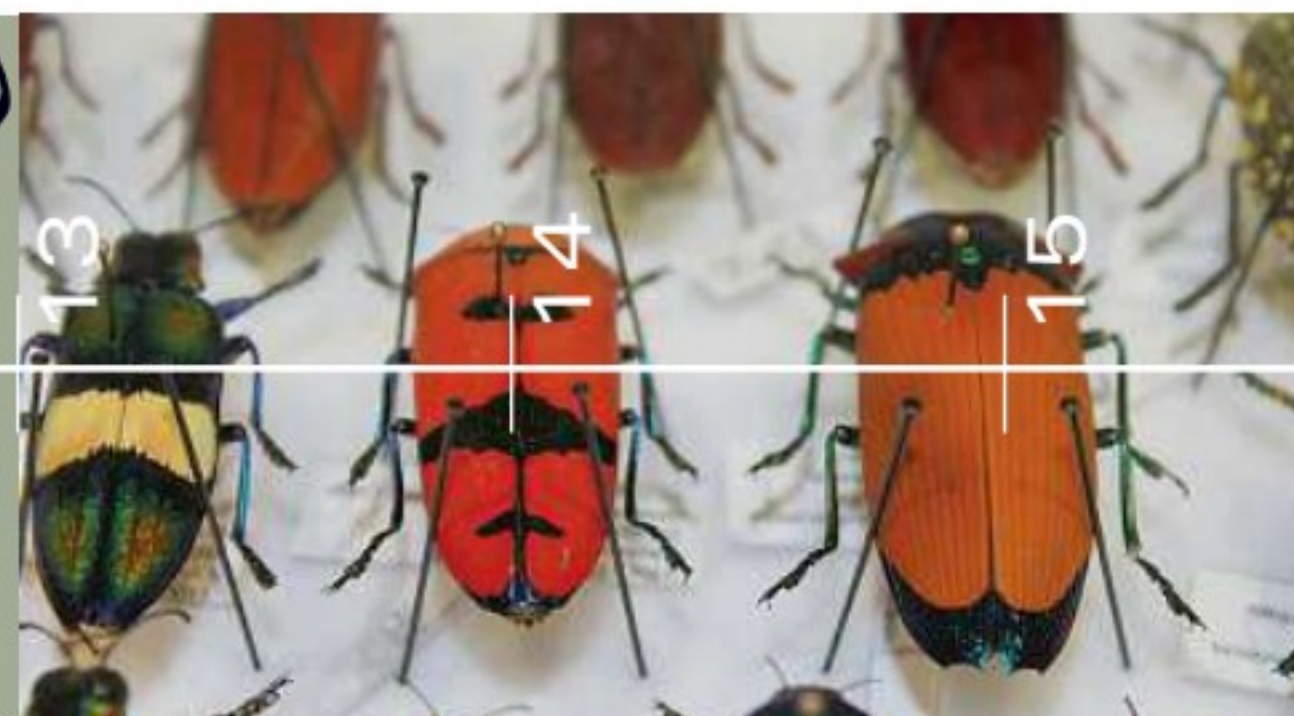
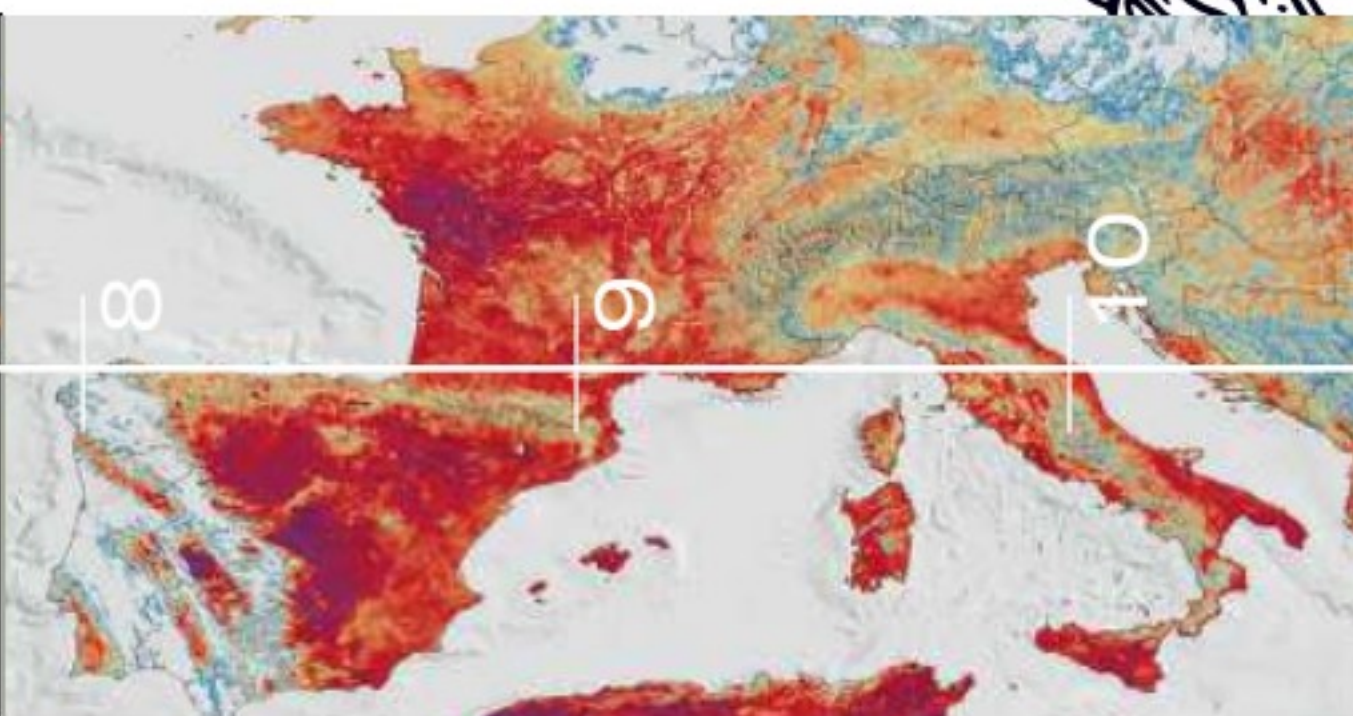
Incroyable ! Cette comète extrasolaire entrée dans notre système en 2025 serait un échantillon des premiers temps de notre Galaxie ! Dixit sa composition en carbone, qui se révèle très atypique. 3I/ATLAS s'est formée loin, dans un endroit très froid... Les analyses continuent.

Records de chaleur historiques

«C'est l'intensité de cette canicule qui l'a rendue exceptionnelle», affirme Sébastien Léas, à Météo-France. Avec 29,8°C en moyenne, le 23 juin a été la journée la plus chaude jamais enregistrée en métropole depuis 1947. On n'oubliera pas non plus la nuit du 24 au 25 juin.

Homo erectus maîtrisait le feu

Cette ancienne espèce humaine n'était peut-être pas capable de l'allumer, mais de nouvelles techniques par photoluminescence révèlent qu'elle savait très bien le manipuler et l'entretenir, il y a 1,7 million d'années – la plus ancienne preuve tangible connue à ce jour. Les traces de combustion analysées au fond de la grotte de Wonderwerk, en Afrique du Sud, montrent que le feu y a été introduit volontairement et maintenu, notamment avec des petites pelotes très inflammables régurgitées par les chouettes. Malin.

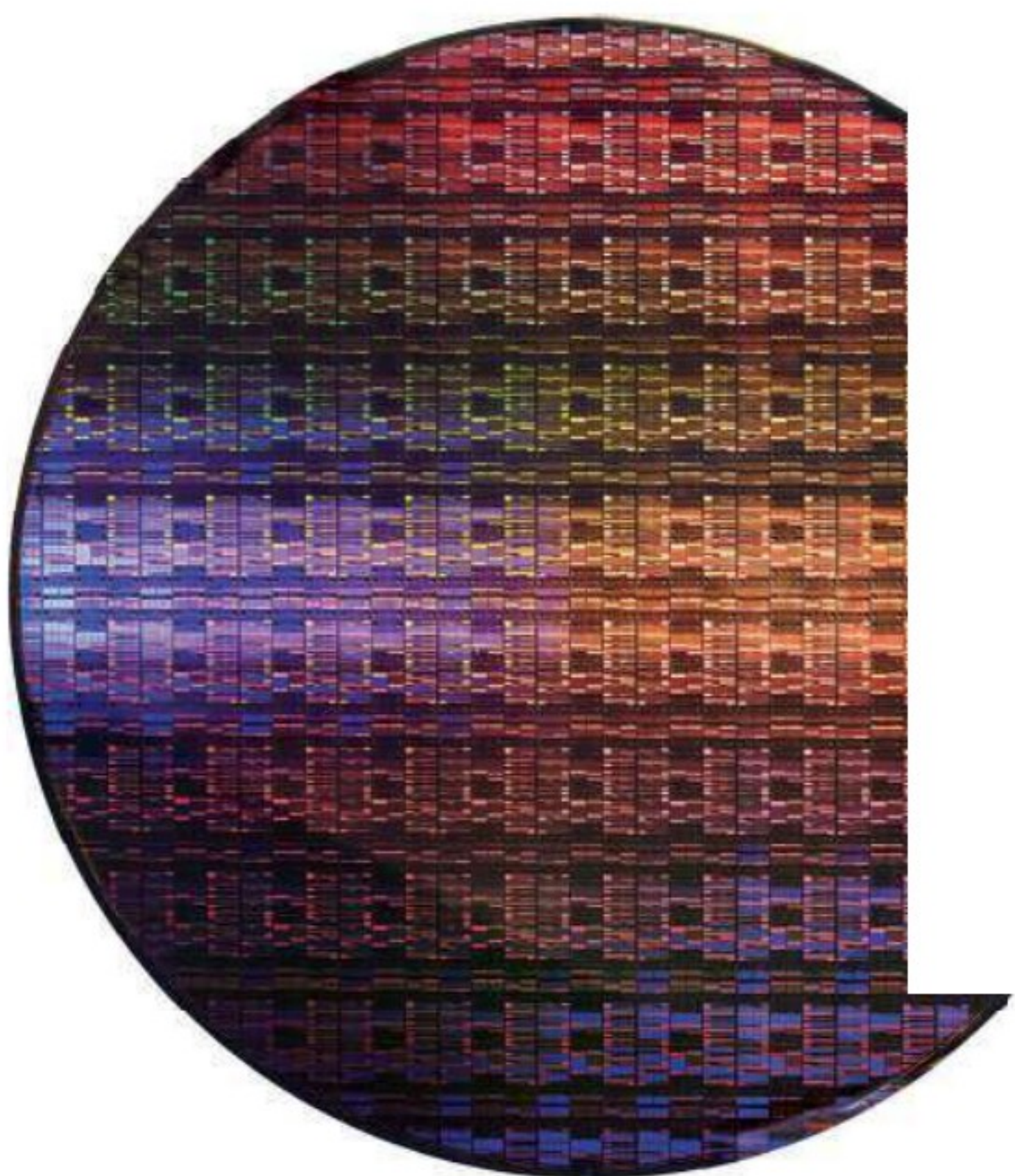


Une puce de moins d'un nanomètre

IBM annonce même le chiffre de 0,7 nanomètre. Concrètement, près de 100 milliards de transistors ont été intégrés sur une puce de la taille d'un ongle, grâce à une nouvelle technique de gravure et d'empilement des composants. Soit une densité 2 fois plus importante que pour les modèles précédents, et une efficacité énergétique 70 % supérieure. «Cela ouvre une nouvelle décennie d'évolution des procédés de gravure en deçà du nanomètre», annonce Laurent Vanel, directeur technique d'IBM.

Il y a beaucoup plus d'espèces d'insectes que prévu

Entre 14 et 20 millions, selon les derniers calculs d'une équipe internationale d'entomologistes, deux à trois fois plus que le consensus actuel. «Le nombre réel est sans doute bien plus élevé tant la diversité qui nous entoure est pour l'essentiel invisible à toute tentative d'échantillonnage isolée», estime Laura Melissa Guzman.



Une horloge nucléaire a été créée

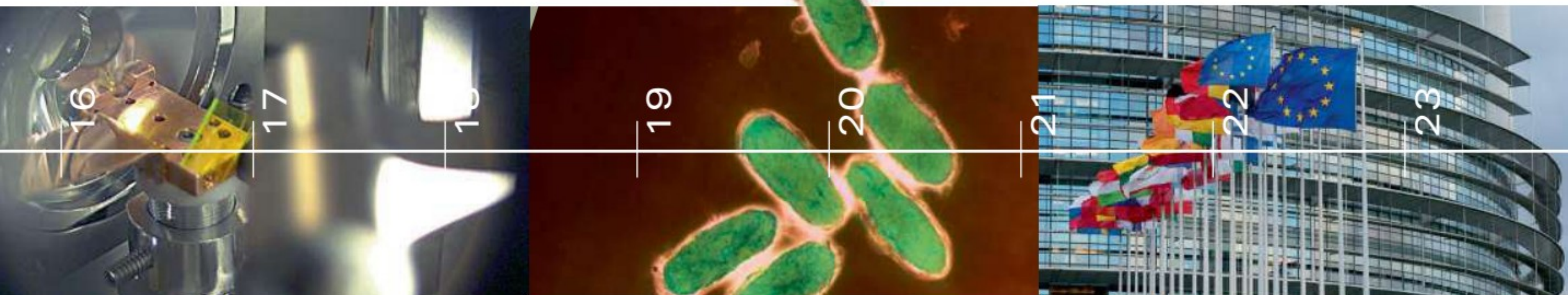
« *Un rêve devenu réalité* », lâche Thorsten Schumm. En 2024, des physiciens étaient parvenus à déclencher la transition de noyaux atomiques, puis à déterminer leur fréquence précise. Là, ils ont réussi à rendre ce tic-tac stable. L'obstacle technique est franchi.

Les IA sont influençables

Oui, on peut amadouer un grand modèle de langage pour qu'il accède à nos requêtes en faisant preuve d'autorité, de connivence ou de familiarité. « *Ce comportement para-humain émerge spontanément des données d'entraînement* », note Lennart Meincke.

L'Europe dit oui aux nouveaux OGM

Le 17 juin dernier, tous les amendements visant à bloquer le texte ont été rejetés par le Parlement européen. Blé, tomate, carotte, vigne... d'ici deux ans, de nouvelles variétés végétales créées en modifiant au maximum 20 bases d'ADN pourront être brevetées et commercialisées en Europe, sans étiquetage obligatoire ni étude d'impact environnemental exigée. Les modifications génétiques plus importantes continueront d'être considérées comme OGM.



On a découvert la première peste

Ses ravages ont eu lieu il y a 5500 ans dans des communautés de chasseurs-cueilleurs de la région du lac Baïkal. « *On retrouve des gens d'une même famille décédés au même moment et enterrés dans des sépultures collectives, les enfants semblent avoir été très durement touchés* », témoigne Ruairidh Macleod, post-doctorant à l'université d'Oxford. La source de cette première épidémie serait les marmottes, porteuses de la bactérie *Yersinia pestis*, que ces populations humaines chassaient alors régulièrement. « *Ces cas sont très proches chronologiquement du moment où ce pathogène responsable de la peste a évolué et est devenu virulent.* »

Le secret des arbres géants

En grandissant, ils élargissent leurs vaisseaux et adaptent leurs feuilles au manque d'eau. « *Ce qui est incroyable, c'est qu'ils parviennent ainsi à compenser les effets de la gravité* », s'émerveille l'écologue Paulo Bittencourt. Qui pointe une résilience essentielle, car « *1 % des arbres les plus grands peut stocker plus de la moitié du carbone d'une forêt* ».

La deuxième vie des ovaires

« *Je supposais naïvement que l'ovaire post-reproductif n'était qu'un vestige inactif ou quiescent, mais il conserve en réalité une activité* », assure Francesca Duncan. Après la ménopause, il devient un réservoir de cellules immunitaires susceptibles de se propager dans l'organisme. Inattendu.

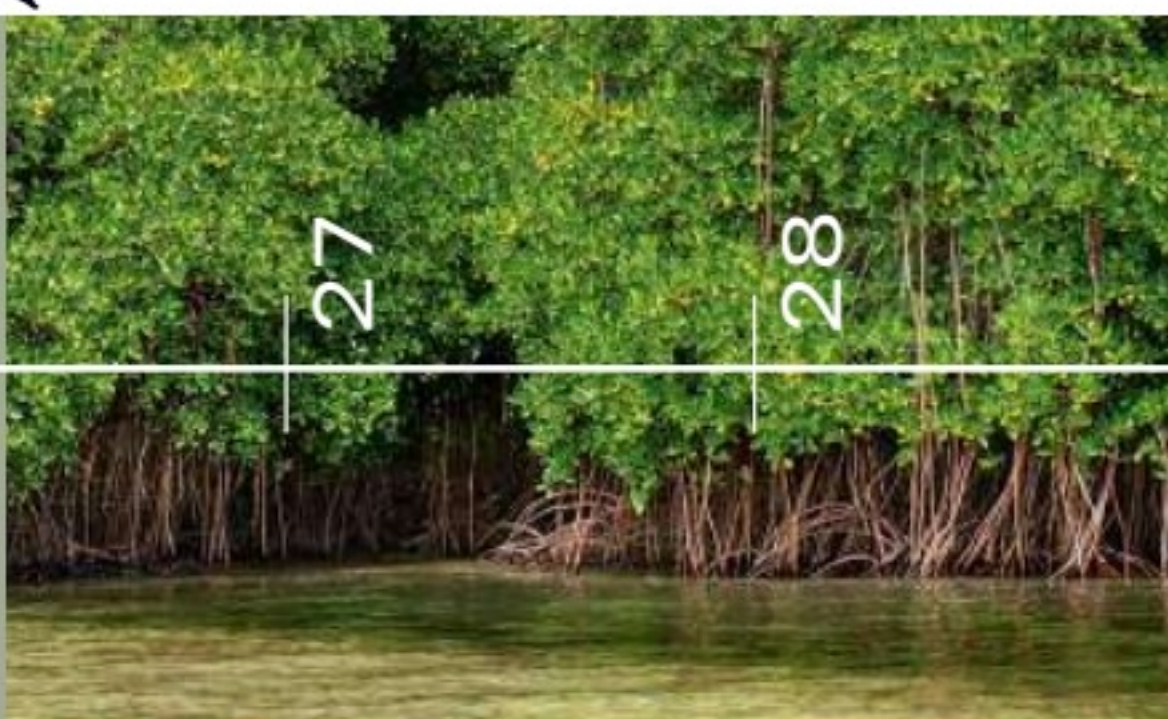


Les bourdons font preuve d'intuition

Face à un problème inédit et sans connaissance préalable, des bourdons ont démontré leur capacité à trouver une solution de façon spontanée et ciblée, et non par essais et erreurs — l'expérience consistait à coincer une balle dans un trou, puis à grimper dessus pour accéder à une fleur suspendue. *« Plus de 70 % d'entre eux y sont parvenus, admire Olli Loukola. Une preuve de plus qu'une cognition complexe ne nécessite pas nécessairement un gros cerveau. »* Une telle capacité n'avait été démontrée jusqu'ici que chez les primates et les oiseaux.

Quand les bactéries s'organisent contre les antibiotiques

À leur contact, un premier groupe sécrète des petites vésicules remplies de protéines à destination d'un deuxième groupe, qui se met en dormance et les absorbe. Une stratégie qui améliore la survie dans ce deuxième groupe.



Les derniers Neandertal se portaient assez bien

Au niveau génétique en tout cas, d'après des os et des dents de 45000 ans trouvés dans le bassin de la Meuse. *« Ces individus tardifs présentent une plus grande diversité génétique et moins de consanguinité que les néandertaliens orientaux plus anciens »,* atteste Alba Bossoms Mesa. Il faut chercher ailleurs la raison de leur disparition.

Bonne nouvelle pour les mangroves

Pour le coup, on ne s'y attendait pas du tout : alors que ces très précieuses forêts côtières souffraient du fait des activités humaines, des mesures satellites montrent qu'elles regagnent du terrain depuis 2010 — plus de 2000 km² de gains nets. Ce sont des mangroves mieux protégées qui se régénèrent très vite, ou même qui conquièrent de nouveaux territoires, comme sur les rivages du Brésil ou dans les deltas de Birmanie. Et ça fait du bien...

Des règles mondiales pour les voitures autonomes

L'ONU exige que les constructeurs valident des critères de sécurité communs avant toute mise en vente. En premier lieu : démontrer que leurs voitures sans conducteur conduisent au moins aussi bien qu'un humain compétent. Un règlement ambitieux.

Vénus aussi a subi un impact géant

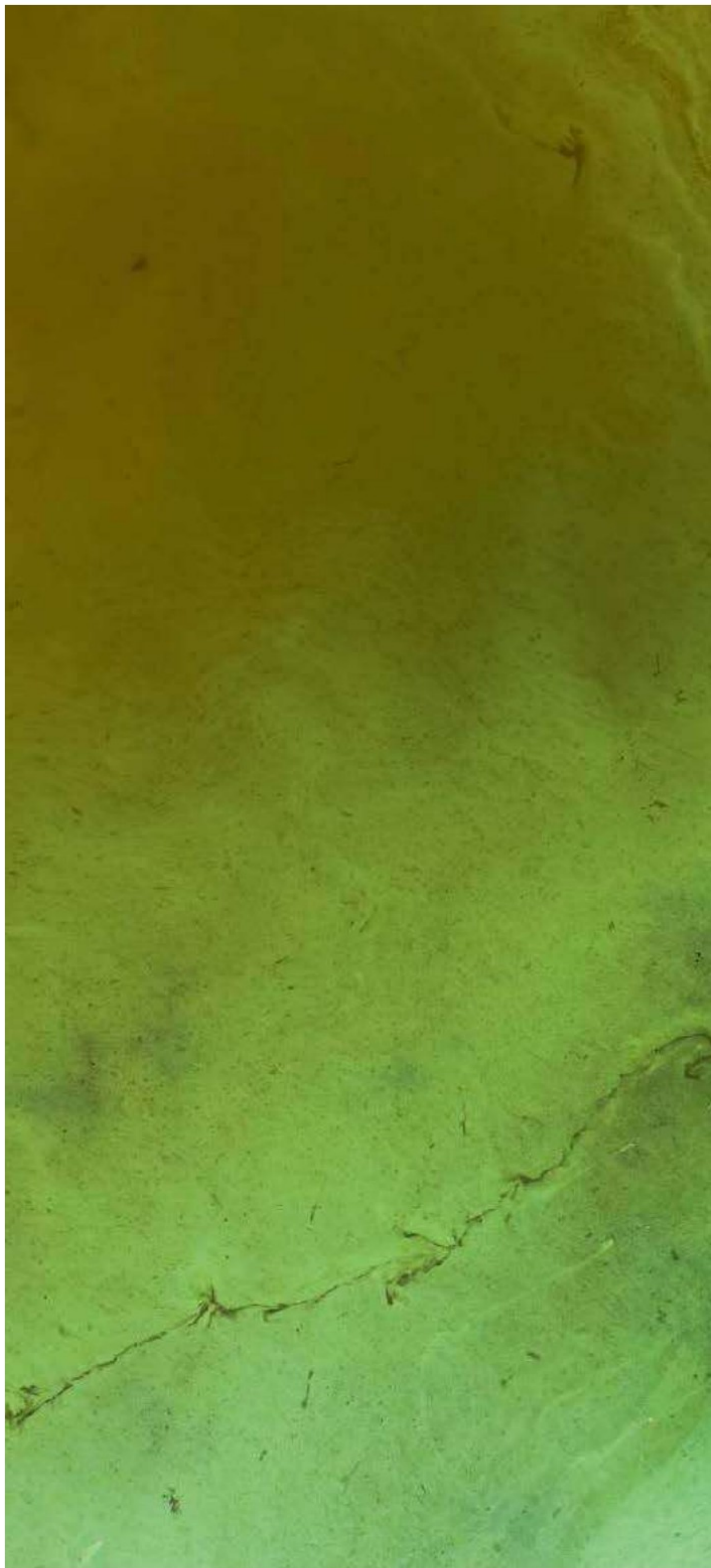
Sa rotation rétrograde et très lente le suggérait. *« Les simulations pointent sur un corps de la taille de Mars arrivant avec un angle de 45° »,* a calculé Cédric Gillman, à l'École polytechnique de Zurich. Mais pas de cratère témoin : le volcanisme a depuis longtemps recouvert toute trace.

Retrouvez toutes nos sources sur epsiloon.com

En images

La grande verte

« Beauté et émerveillement, c'est ce que m'inspire la vue aérienne de ces algues, dont la prolifération est pourtant très laide vue du sol. » Allen Tian, chercheur à l'université Queen's de Kingston, au Canada, se souvient : *« Ce jour-là, je volais pour réaliser un relevé d'échantillons de Microcystis aeruginosa et de Dolichospermum flosaquae »,* deux algues communes qui créent chaque été un manteau pouvant couvrir jusqu'à 100 hectares à la surface du lac Dog, dans l'est de l'Ontario. *« Mais c'est par hasard que j'ai remarqué l'étonnante netteté du reflet de mes assistants dans leur bateau. »* **G.A.**







50 MICROMÈTRES

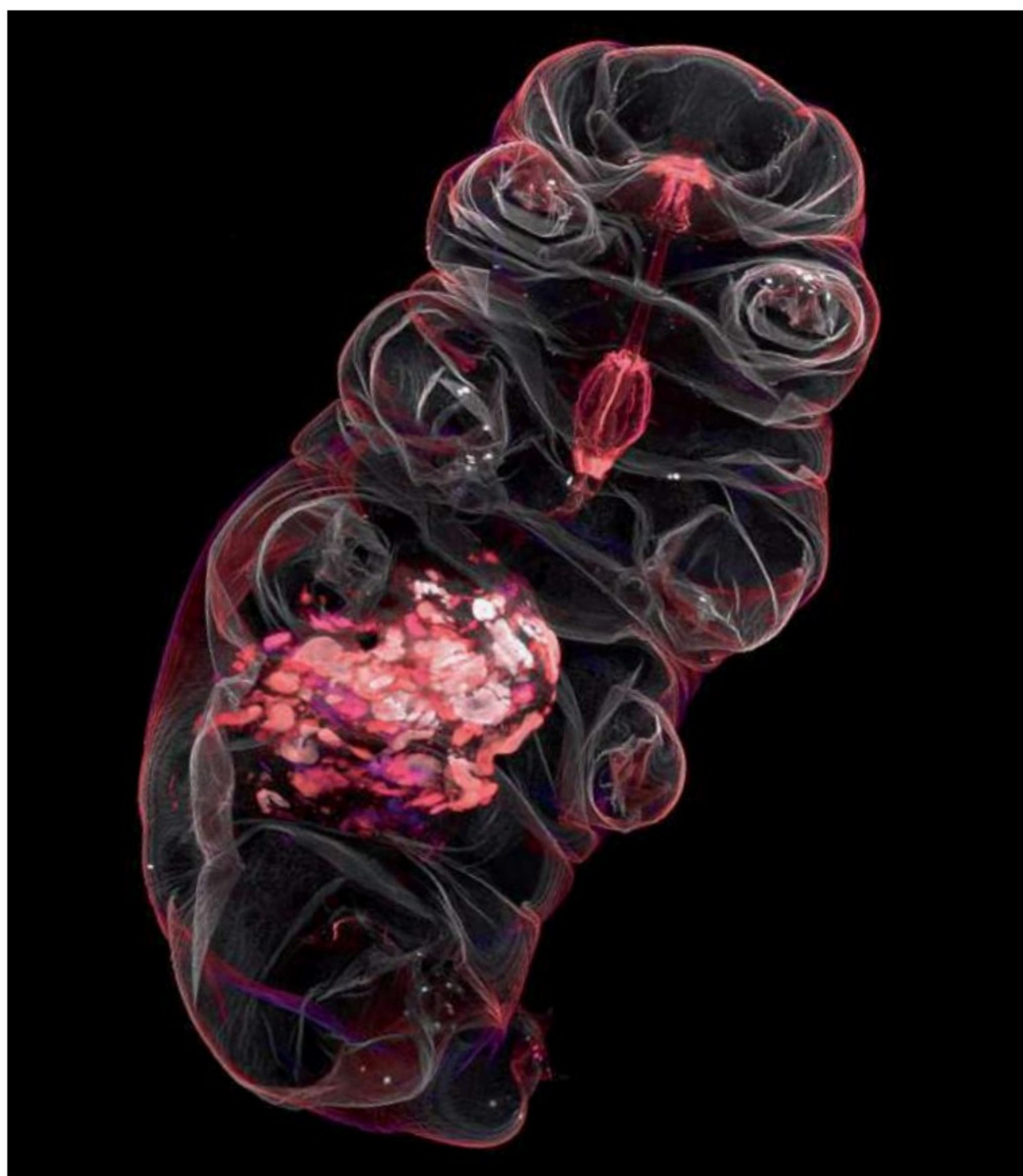
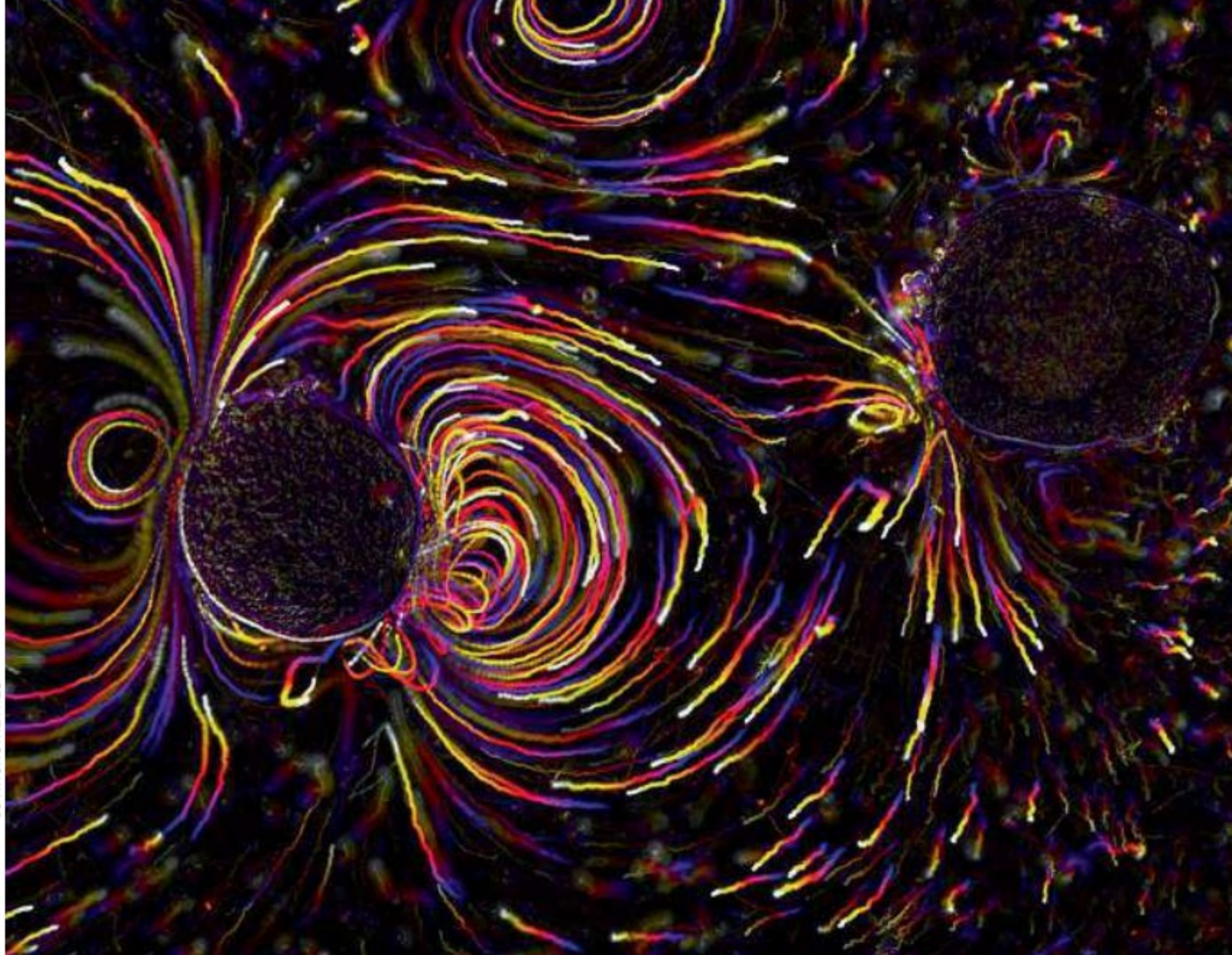
Carbone

« La recherche ne consiste pas seulement à générer des données, mais aussi à mettre au jour des perspectives cachées, à voir des matériaux familiers sous un jour nouveau. C'est ce que j'ai fait ici », explique l'ingénieur Muhammad Tahir Khan, de l'université irlandaise de Limerick. Il a étudié une fibre de carbone dérivée de la lignine, potentielle alternative durable aux fibres à base de pétrole, sous un microscope électronique à balayage. *« J'ai révélé des caractéristiques structurales de ces fibres susceptibles d'influencer leurs performances. »* **N.B.**

Dans le flux

Ce que l'on voit ici, ce sont les courants que dessinent des embryons d'étoiles de mer dans l'eau ! « *Je voulais comprendre comment les minuscules cils qui se trouvent à la surface de leurs cellules créent des flux qui leur permettent de se rassembler,* explique Rafael Deliz-Aguirre, du centre Max Delbrück de médecine moléculaire. *Leur longueur et leur fréquence de battements jouent un rôle important dans les déplacements des embryons* ». **N.B.**

50 MICROMÈTRES



10 MICROMÈTRES

Minuscule

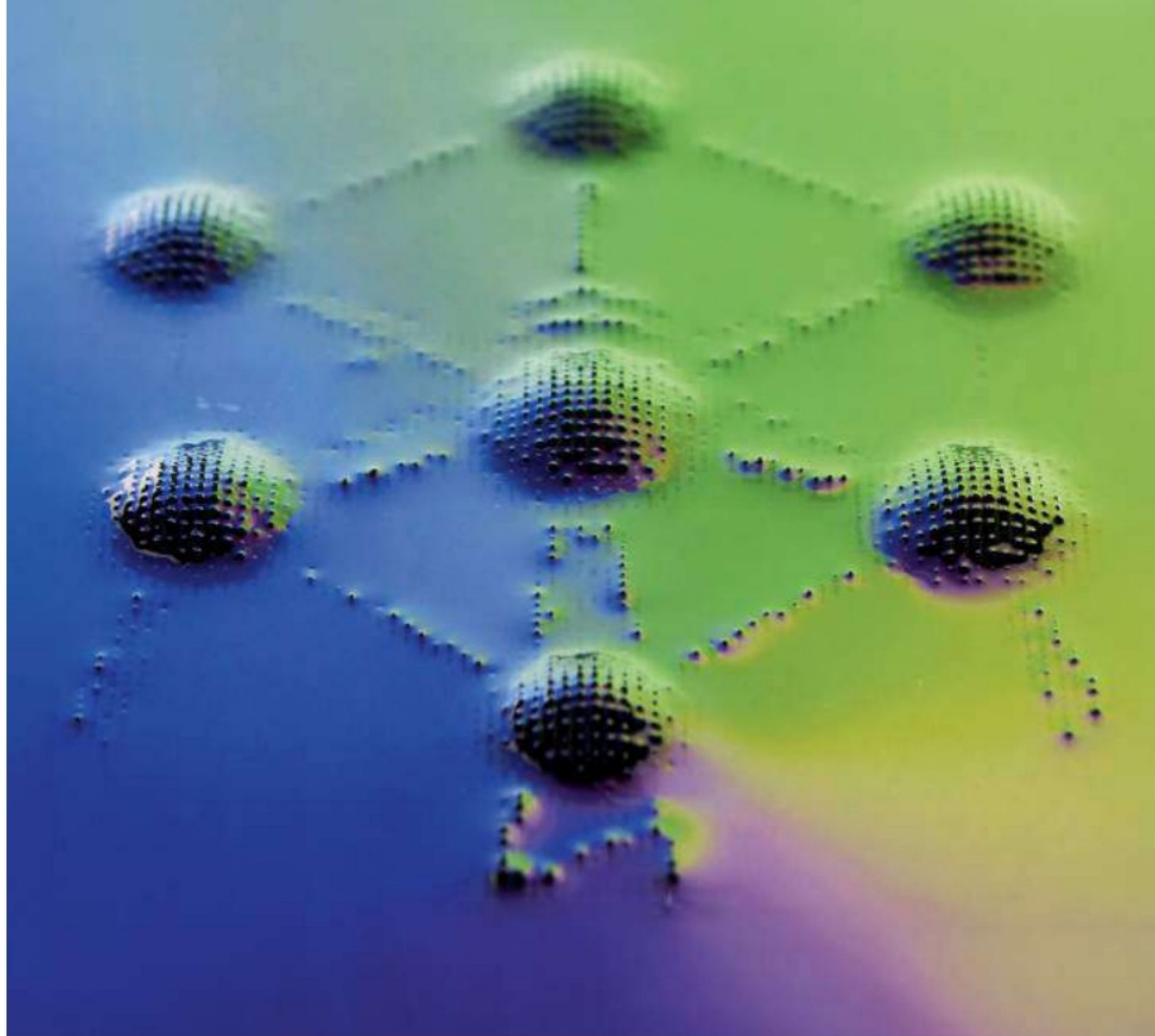
« *J'aime le contraste entre l'apparence quasi monstrueuse et pourtant attachante du tardigrade.* » Certes, mais pour tirer son portrait, le biologiste Gonzalo Quiroga-Artigas, du CRBM de Montpellier, n'a tout de même pas hésité à le coincer entre deux lamelles de son microscope confocal. Il l'a ensuite photographié à diverses profondeurs, avant de colorer les images de façon à donner cette impression de volume. À travers sa cuticule transparente, on observe ainsi son appareil buccal, son pharynx et même les algues dont il se nourrit. **V.G.**





0.5 MILLIMÈTRE

5 MILLIMÈTRES



Le monument

Clin d'œil des physiciens belges à la ville de Bruxelles : cette mini-sculpture aquatique mime le fameux Atomium, l'atome de fer géant qui domine la capitale. C'est surtout la première fois que des chercheurs réussissent à *« soulever de l'air pour sculpter des interfaces eau-air, explique Nicolas Vandewalle. Et avec l'Atomium, nous avons voulu montrer qu'on peut créer n'importe quel type de forme »*. Avec de potentiels débouchés pour trier ou nettoyer des particules dans des liquides. **M.V.**

Fluo !

Le photographe Nicky Bay est tombé sur cette araignée crabe lors d'une expédition dans le cadre du projet The Wilderness, dans les hautes terres de l'Angola. *« Elle était posée sur un tronc près du campement. J'ai utilisé une lentille macro et un flash spécial qui expose aux ultraviolets et elle a d'un seul coup révélé toute sa fluorescence. »* Pour l'instant, impossible de savoir s'il s'agit d'une nouvelle espèce, même si la couronne qu'elle porte sur la tête la rapproche du genre *Smodicinus*. **M.V.**

Retrouvez toutes nos sources sur epsiloon.com

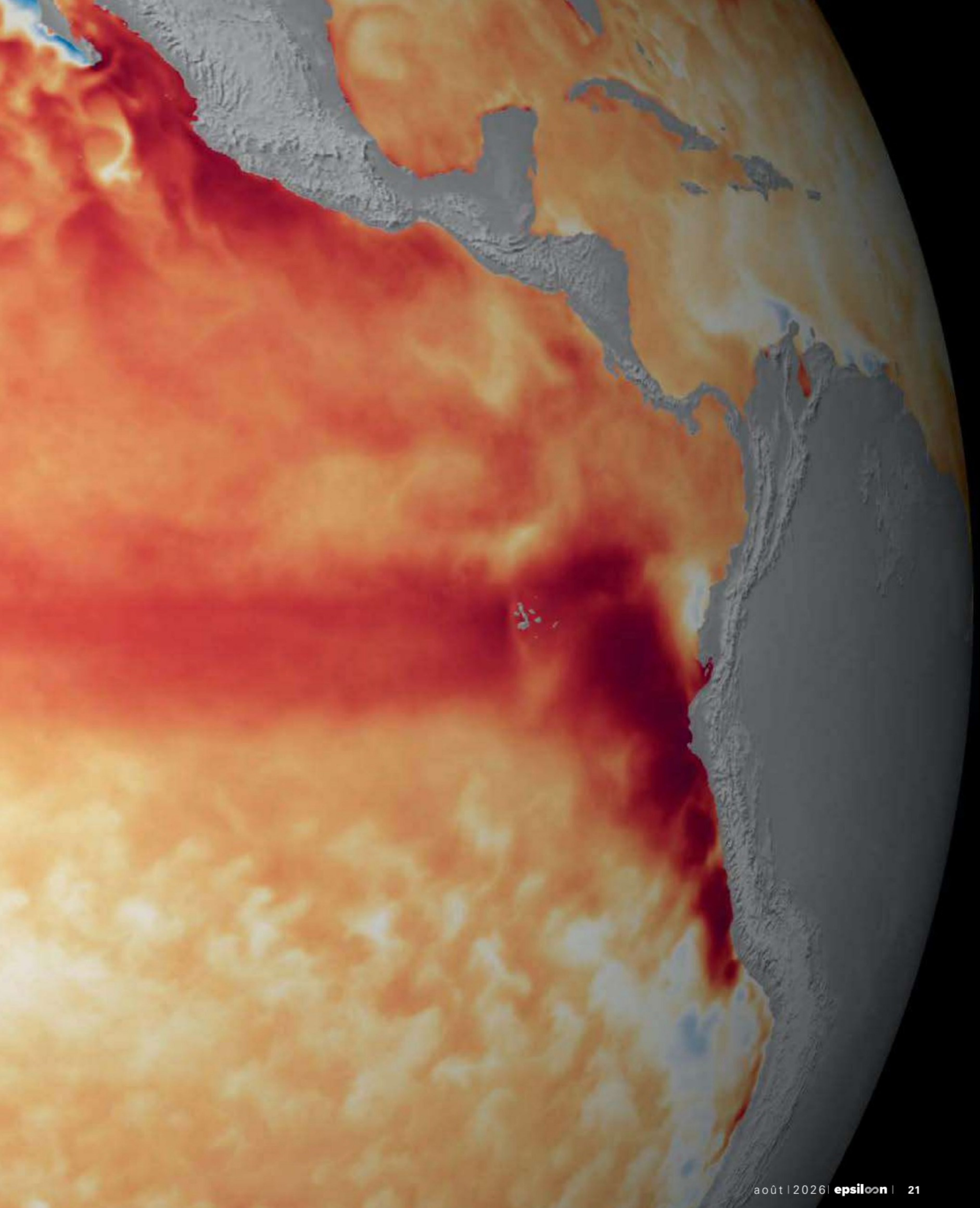
L'enquête

SUPER EL NIÑO

COMMENT LE MONDE SE PRÉPARE

Les modèles s'emballent. L'enfant terrible du climat est de retour dans le Pacifique dans des proportions sidérantes. Ce n'est plus qu'une question de semaines avant qu'il atteigne sa pleine puissance. Toutes les organisations internationales sont en alerte. La mobilisation est générale.

PAR VINCENT NOUYRIGAT



UN MONSTRE EST EN TRAIN DE NAÎTRE

Certains l'appellent déjà Godzilla ou le Kraken. La plupart des médias lui attribuent le préfixe «super» et les agences météo le qualifient avec encore un peu de pudeur de «très fort»... même si certains climatologues commencent à prononcer le mot «historique». Vous en avez sans doute déjà entendu parler: depuis quelques semaines, El Niño est de retour dans le Pacifique. Comme tous les deux à sept ans, serait-on tenté de dire avec un brin de lassitude –le dernier épisode remonte juste à l'année 2024. Après tout, c'est un mécanisme d'interaction entre l'océan et l'atmosphère absolument naturel, une source normale de variabilité de notre planète, et le réchauffement climatique

«Dès le mois de mars, nous avons émis un premier bulletin sur l'arrivée d'El Niño vers mi-2026», lance Michelle L'Heureux, météorologue à la NOAA, la National Oceanic and Atmospheric Administration, aux États-Unis. À l'époque, le Pacifique affiche encore un visage normal. À savoir, des eaux très chaudes à l'ouest, au large de l'Indonésie, et de l'eau fraîche à l'est, du côté du continent américain. Un schéma habituel provoqué par les alizés qui soufflent d'est en ouest au niveau de la bande équatoriale, poussant les eaux de surface réchauffées vers l'Asie, et faisant remonter les eaux profondes froides au large du Pérou. Cette différence de température entre les deux bords du

Pacifique stimule, en retour, les alizés, et le système s'auto-entretient tranquillement... Sauf qu'une petite perturbation peut surgir du grand chaos de l'atmosphère pour affaiblir ces alizés. «Un coup de vent venant de l'ouest

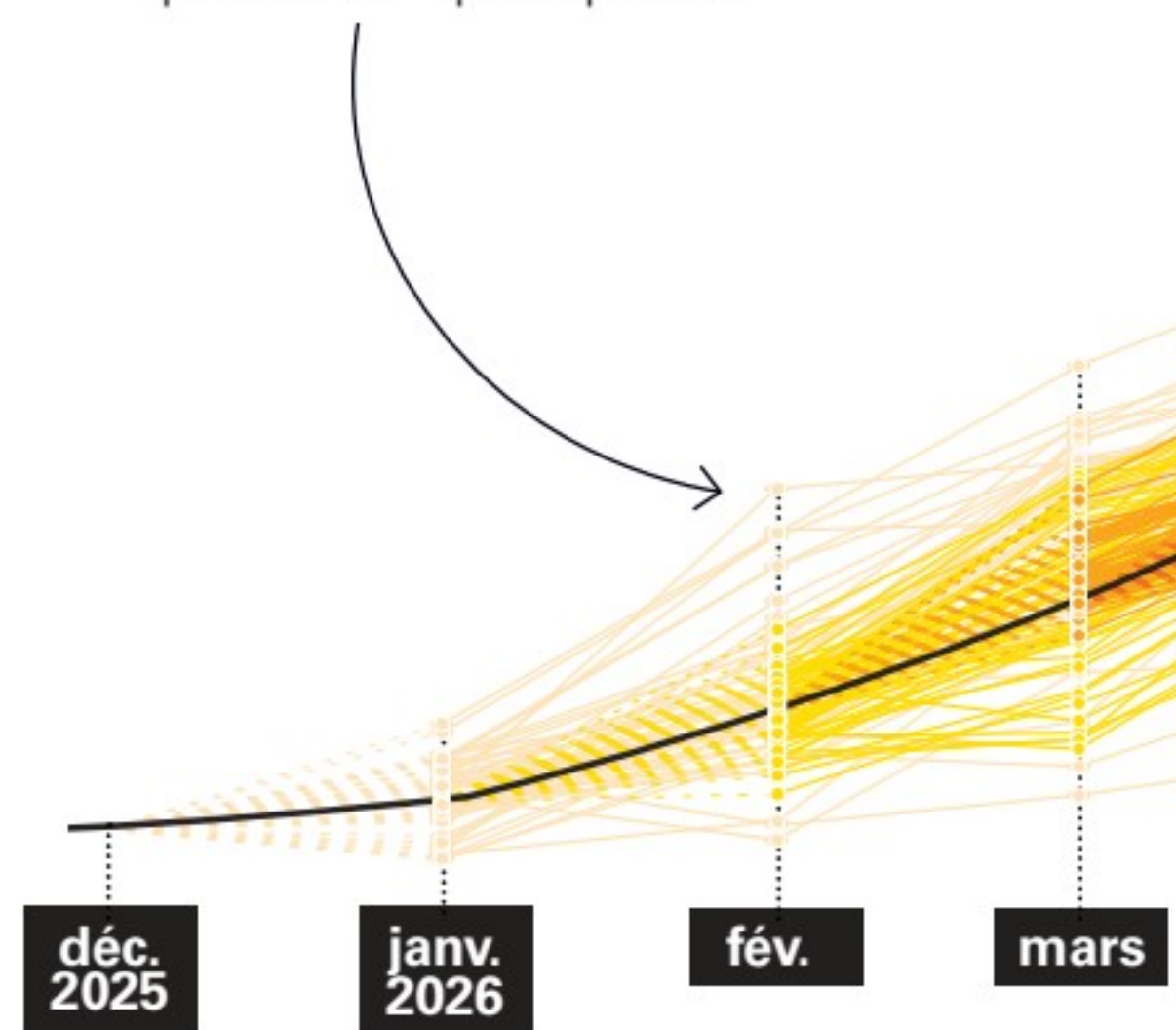
peut par exemple se produire, c'est difficile à prévoir; le phénomène est notamment lié aux ondes atmosphériques de Madden-Julian, qui font le tour de la Terre en quarante jours environ, indique Éric Guilyardi, océanographe à l'Institut Pierre-Simon Laplace. Nos études montrent qu'il faut plusieurs coups de vents d'ouest pile à l'équateur pour former un El Niño extrême.»

n'y est pour rien. Sauf que, cette fois, ce phénomène habituellement surnommé «l'enfant terrible du climat» risque vraiment de tout casser! Ce n'est plus qu'une question de semaines ou de mois: le maximum de sa puissance devrait être atteint entre novembre 2026 et février 2027, et le monde entier se prépare à affronter ce monstre météorologique. Comme si on avait besoin de ça...

Les modèles statistiques, dynamiques... tout converge vers un événement d'ampleur

Julien Boucharel, climatologue
à l'Institut de recherche pour le développement

Les prévisions publiées par le centre météorologique européen depuis janvier sont de plus en plus alarmantes. Alors qu'un El Niño plutôt modéré était d'abord envisagé, c'est un phénomène très intense – voire sans précédent – qui se profile.

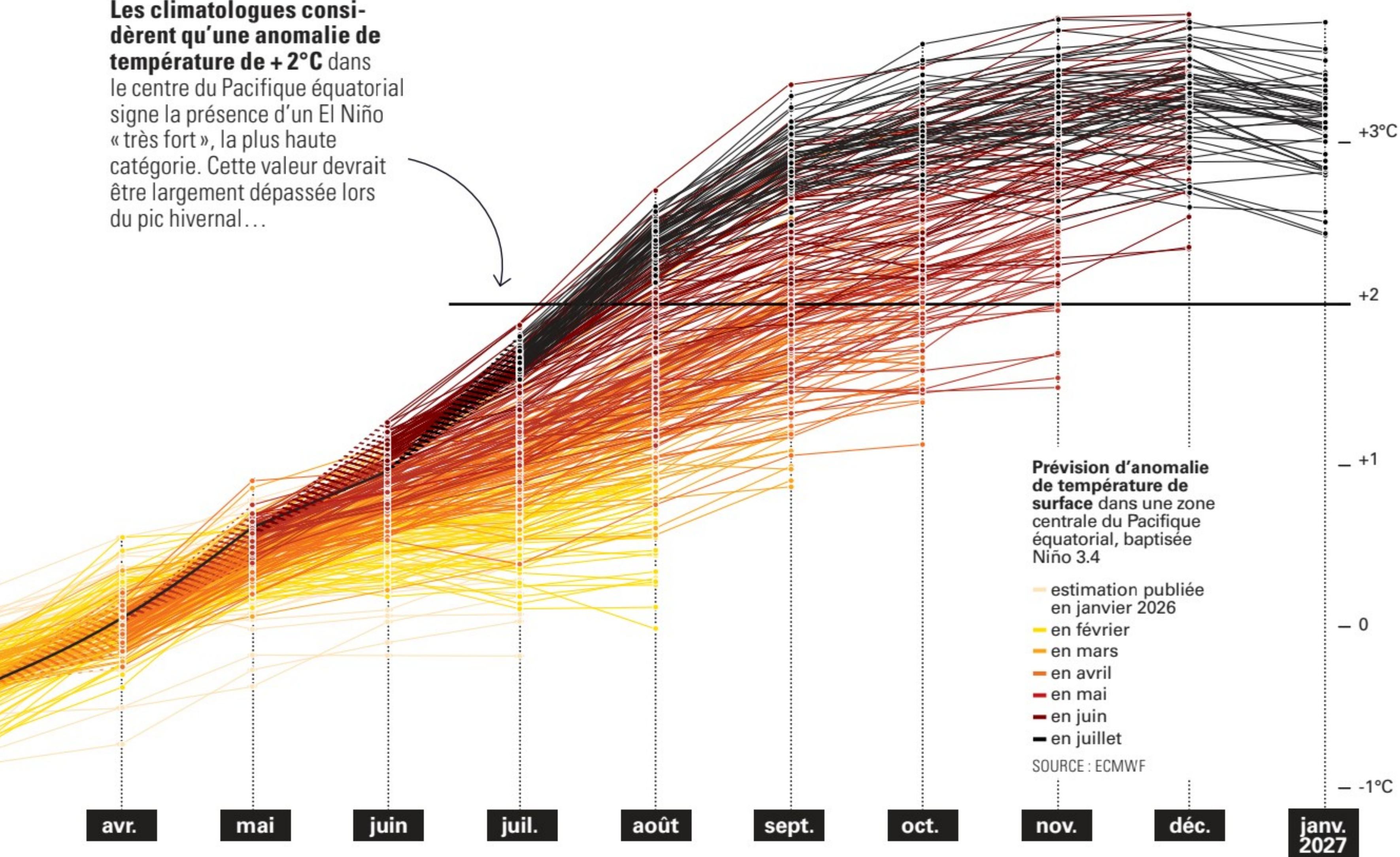


Pendant le printemps, les premières alertes au «super El Niño» filtrent sur les réseaux sociaux et dans la presse à sensation. Mais l'information est à prendre avec des pincettes: la période de mars à mai est toujours très délicate pour les prévisionnistes, le Pacifique est alors sensible aux moindres fluctuations qui peuvent favoriser ou faire avorter un futur El Niño –les experts parlent de «barrière de prévisibilité du printemps».

ONDE SOUS-MARINE

«On se souvient de la prévision ratée de 2014: alors que toutes les conditions laissaient présager un super El Niño, il ne s'était finalement rien produit», rumine Julien Boucharel de l'IRD, l'Institut de recherche pour le développement. Force est de constater

Les climatologues considèrent qu'une anomalie de température de $+2^{\circ}\text{C}$ dans le centre du Pacifique équatorial signe la présence d'un El Niño « très fort », la plus haute catégorie. Cette valeur devrait être largement dépassée lors du pic hivernal...



que le printemps 2026 a vu les rafales de vents d'ouest se multiplier avec, pour conséquence, un déferlement d'anomalies chaudes de l'ouest vers l'est du Pacifique sous la forme d'une gigantesque onde sous-marine – cette « onde de Kelvin » met deux à trois mois pour traverser l'océan. Le visage d'El Niño apparaît alors clairement dans le Pacifique.

Le début de l'épisode est annoncé mi-juin par les météorologues américains et australiens. Et les scientifiques commencent à parler sérieusement d'un El Niño « très fort », c'est-à-dire d'une anomalie de température en surface dépassant les 2°C dans une zone du centre du Pacifique – depuis l'ère des mesures par satellite, trois événements seulement ont dépassé ce seuil, les El Niño de 1982-1983, 1997-1998 et celui de

2015-2016. Dans son bulletin du mois de mai, la NOAA estimait la probabilité d'un El Niño très fort à environ 25%... « Dans notre bulletin de juin, la probabilité monte à 63% entre novembre et janvier, ce qui en ferait l'un des épisodes les plus puissants depuis le début de nos mesures, en 1950 », signale Michelle L'Heureux.

ÇA S'EMBALLE

De fait, en juin, tous les modèles s'emballent : beaucoup tablent sur une anomalie d'au moins $2,5^{\circ}\text{C}$ et, parfois, dépassent durablement et allègrement les 3°C . « C'est arrivé seulement une fois de flirter avec les $+3^{\circ}\text{C}$, en 2015, pendant une petite semaine, glisse Muhammad Azhar Ehsan, à l'université Columbia. Pourtant, ce résultat

au-delà des 3°C est un signal cohérent partagé par plusieurs modèles. » « Nos prévisions sont devenues à la fois plus fiables et plus intenses ces derniers mois, les fluctuations aléatoires du vent ont poussé le système vers un El Niño extrême », analyse Antje Weisheimer, du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, dont certaines simulations menées en juillet approchent... les $+4^{\circ}\text{C}$. Le programme européen Copernicus affiche, lui, 68% de probabilité de voir se produire dès cet automne un « événement sans précédent » – une nouvelle catégorie créée pour l'occasion. « Notre IA entraînée à partir des observations des cent dernières années prévoit le phénomène le plus intense jamais enregistré, quelque

L'enquête

chose de vraiment majeur», renchérit de son côté Wenju Cai, de l'université chinoise des sciences océaniques. «Les modèles statistiques, conceptuels, dynamiques, tout converge... il semblerait que l'on se dirige tout droit vers un événement d'ampleur», résume Julien Boucharel.

PRÉVENIR, ANTICIPER

Un événement aux conséquences planétaires : cette énorme redistribution de la chaleur du Pacifique a la capacité de reconfigurer la circulation atmosphérique à grande échelle, et de changer les régimes de précipitations, provoquant ici des sécheresses intenses, là des pluies diluviennes – cela dépend aussi du stade d'évolution d'El Niño, de sa montée en puissance jusqu'à sa disparition. «Dès le 2 juin, nous avons émis un communiqué pour appeler les pouvoirs publics à se préparer à cet El Niño, à prendre des décisions dès maintenant au vu des premières prévisions saisonnières sur les différentes régions du monde», signale Wilfran Moufouma Okia, à la tête des prévisions de l'Organisation météorologique mondiale; «nous avons anticipé la très forte intensité du El Niño 1997-1998, mais l'information était alors restée cantonnée dans les laboratoires et il y avait eu beaucoup de dégâts», se souvient Éric Guilyardi. «À l'exception notable des États-Unis, les dirigeants du monde entier montrent qu'ils prennent cet El Niño 2026 au

Le 2 juin, nous avons appelé les pouvoirs publics à se préparer dès maintenant

Wilfran Moufouma Okia,
chef des prévisions climatiques à
l'Organisation météorologique mondiale

UN IMPACT MAJEUR SUR L'ALIMENTATION, L'ÉNERGIE, LES RESSOURCES CRITIQUES...

L'impact d'un super El Niño sur le climat européen, dominé par l'océan Atlantique, n'est pas clair. **Les prévisions sont très incertaines.**

Dépendante à plus de 80 % de l'hydro-électricité, la Zambie pourrait affronter **des pénuries de courant** en raison de la sécheresse.

Impacts climatiques attendus d'un super El Niño

- Températures élevées et sécheresses
- Humidité et précipitations extrêmes
- Intensification des typhons et ouragans

SOURCE : IRI

Pour le sud de l'Afrique, c'est une question de survie : plus de 60 millions de personnes ont été touchées par **les mauvaises récoltes** de 2024, dues à El Niño.

sérieux», constate Cullen Hendrix, politologue du Center for Climate & Security. «Nos équipes techniques travaillent sur des plans d'action anticipés depuis les premières estimations du mois de mars, pour éviter que cet événement ne se transforme en catastrophe humanitaire», clame Richard Choularton, du Programme alimentaire mondial des Nations unies. Face à cet El Niño monstrueux, l'organisme a lancé le 18 juin un appel de fonds anticipé pour protéger 8,8 millions de personnes très vulnérables dans 22 pays à haut risque en Afrique, en Asie et en

Amérique latine –d'autant que le prix des engrais s'est envolé à la suite du blocage du détroit d'Ormuz.

LE CAS DE LA MOUSSON

Car la première menace est évidemment alimentaire. L'émergence d'El Niño ce mois de juin a coïncidé avec le début de la mousson dans le sud-ouest de l'Inde, un pays encore marqué par les millions de morts de la famine de 1878 liée entre autres à un El Niño surpuissant. «La mousson a cette année débuté avec trois jours de retard dans le Kerala et devrait être plus faible que la moyenne,

Des typhons très puissants sont susceptibles de frapper les côtes du Japon, de la Corée ou encore de Taïwan.

L'Indonésie se prépare à de médiocres récoltes de riz, et à d'**immenses incendies** qui pourraient enfumer toute la région.

Le niveau d'eau dans le canal de Panama est menacé par la sécheresse et pourrait **entraver la circulation des navires de marchandises**.

Au large du Pérou, on risque d'assister à **l'effondrement des populations d'anchois**, dont les captures servent à l'alimentation animale.

Grand exportateur de blé, l'Australie redoute de **fortes chutes de rendements**, notamment dans son bassin céréalier du Sud-Est.

Les inondations au Chili risquent de **bloquer ses immenses mines de cuivre**, en plein boom de la demande tirée par les data centers.

provoquant de possibles baisses de rendement des cultures de maïs et de riz», prévoit Madhulika Gurazada, chercheuse à l'université de Californie. Le premier ministre indien, Narendra Modi, a réuni tous ses ministres fin juin sur la question. L'Indonésie s'attend, elle, à subir une aridité intense et durable, qui pourrait aussi nuire à sa sacro-sainte production de riz; le gouvernement a demandé d'avancer la date des semis et a constitué des stocks de riz records – 5 millions de tonnes, aux dernières nouvelles.

Les sécheresses redoutées dans le sud et l'est du continent africain, encore très

éprouvés par l'El Niño 2024, concentrent les efforts du moment: distribution de semences de variétés plus résistantes au manque d'eau, mise en place de systèmes d'irrigation... «*Nos inquiétudes sont particulièrement vives en Éthiopie, où El Niño risque d'affaiblir la saison des pluies, de juin à septembre, essentielle à la récolte principale d'octobre qui couvre la majeure partie des besoins en céréales du pays pour l'année suivante, pointe Beth Weeks, du réseau des systèmes d'alerte précoce contre la famine. En Afrique australe, les craintes portent sur la saison des*

pluies d'octobre à mars, les besoins d'aide alimentaire devraient se faire sentir de janvier à mars 2028.»

BOMBE SOCIALE

«*Les pluies intenses attendues dans certaines zones de la corne de l'Afrique pourraient entraîner des pertes post-récoltes», complète Weston Anderson, de l'université du Maryland. Des sacs hermétiques doivent être distribués pour protéger les récoltes et les graines. «Le bétail aussi est très touché par la diminution du fourrage disponible, avec une baisse de productivité pour le lait*»

L'enquête

et la viande liée au stress thermique... Dans certaines régions d'Afrique, les pertes de moyens d'existence pastoraux sont aussi critiques que celles liées aux cultures», alerte David Laborde, à la FAO, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, qui planifie des soins vétérinaires.

L'Amérique centrale n'est pas beaucoup mieux lotie, notamment dans le «corridor sec», à travers le Guatemala, le Salvador, le Honduras et le Nicaragua, qui risque d'être frappé lors de la primera, la première saison agricole de l'année récoltée en septembre. Dans le Pacifique aussi, il faut s'adapter: *«Avec le réchauffement des eaux, les thons migrent,*

Un El Niño très fort est un choc mondial asymétrique: les régions déjà vulnérables sont les plus touchées

David Laborde,

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

mettant à rude épreuve les pêcheurs des petites îles, cela pose des questions de sécurité alimentaire», craint Noah Fritzhand, du Center for Climate & Security. Faute de remontées d'eau froide riches en nutriments, les populations d'anchois s'effondrent déjà au large du Pérou. «Tout le monde en parle là-bas, c'est une bombe sociale. Il faut aussi savoir qu'au niveau mondial, ces captures représentent la moitié des farines de poissons, qui nourrissent les fermes aquacoles, les élevages de porcs, de volailles», témoigne Arnaud Bertrand, biologiste marin à l'IRD. À vrai dire, de nombreuses matières premières pourraient être bousculées sur les marchés mondiaux, comme le blé, le cacao, l'huile de palme, le sucre –l'Inde craint de faibles

À CHAQUE EL NIÑO, DES BOULEVERSEMENTS GÉOPOLITIQUES

«Le phénomène El Niño qui s'annonce pourrait rivaliser avec les monstres du passé, comme celui qui a contribué à la chute de la civilisation moche, au Pérou, durant le IX^e siècle», avertit Mark Cane, paléoclimatologue à l'université Columbia. Des pluies torrentielles qui détruisent les infrastructures, les canaux d'irrigation, et l'effondrement des pêcheries dans les eaux côtières ont sans doute mis à mal cette brillante société. Ailleurs, au cours de l'histoire, des moussons affaiblies et des sécheresses extrêmes provoquées par El Niño ont pu déstabiliser plus ou moins directement des pouvoirs en place: «La conquête coloniale britannique de la partie occidentale de l'Inde au début du

XIX^e siècle s'explique en partie par l'affaiblissement des dynasties indiennes au pouvoir, à la suite d'une famine provoquée par des sécheresses probablement liées à El Niño», évoque George Adamson, géographe au King's College de Londres. Aujourd'hui encore, ces mauvaises récoltes, ces migrations forcées sous l'effet des inondations ou de la sécheresse sont des sources de tension. «En Afrique de l'Est et au Sahel, il y a des risques de conflits entre communautés pastorales et sédentaires qui se trouvent en concurrence pour l'eau et les zones fertiles», prévient David Laborde, de la FAO. «Oui, nous avons bien établi des liens entre El Niño et les enjeux sécuritaires, appuie Cullen Hendrix, du Center for Climate

rendements et a suspendu ses exportations –, mais aussi le cuivre et le lithium, dont l'extraction risque d'être perturbée par les inondations dans les Andes.

Sachant que tous ces excès atmosphériques peuvent déclencher des épidémies, en favorisant les moustiques ou en dégradant la qualité de l'eau. «Nous intégrons cet El Niño dans notre évaluation des risques, nous confirme un porte-parole de l'OMS. Il devrait modifier la dynamique des maladies comme

le paludisme, la dengue, le chikungunya ou la fièvre de la vallée du Rift. Après des inondations, on s'attend au choléra ou à d'autres maladies diarrhéiques. Les fumées des incendies liés aux sécheresses constituent aussi un problème majeur de santé publique.» Sans parler des destructions qui s'annoncent: «Sous l'influence d'El Niño, les typhons se forment plus loin dans le Pacifique, ce qui leur laisse le temps de s'intensifier au-dessus des eaux



▲ Beledweyne, Somalie, novembre 2023.

& Security. On voit par exemple un triplement des conflits maritimes liés aux ressources halieutiques en mer de Chine. Surtout, dans les régions tropicales, on constate un doublement des risques de déclenchement de guerres civiles. » Même si George Adamson pondère : « Il faut être prudent, il existe de nombreux maillons dans ces chaînes de causalité. »

chaudes et de gagner en puissance au moment de toucher la terre ferme», redoute I-I Lin, climatologue à l'université nationale de Taïwan. Le monstre génère aussi des houles géantes dans le Pacifique en hiver, qui viennent se fracasser sur les côtes nord-américaines : « Lors de l'épisode de 2015, l'érosion des côtes avait augmenté de 76%, et le niveau des mers s'est élevé depuis », s'inquiète Séverine Fournier, spécialiste de la circulation océanique à la NASA.

« Les conséquences économiques des super El Niño – mais aussi des La Niña – sont considérables et s'inscrivent dans le temps long : on parle d'un coût de 5700 milliards de dollars pour celui de 1997-1998 », souffle Gilles Dufrénot, économiste à l'université Aix-Marseille.

ÉVITER LE PIRE

Bon, tentons de nous rassurer : tous les dégâts redoutés pour cet épisode potentiellement monstrueux ne vont pas forcément se produire. « Ce n'est pas parce qu'un El Niño est très puissant que ses impacts seront forcément plus forts partout », pose Michelle L'Heureux. De fait, ses perturbations se heurtent aux systèmes météo régionaux, aux saisons, aux modes de variabilité des différents bassins océaniques, qui peuvent atténuer ou exacerber ses effets. Par exemple, une phase positive du dipôle de l'océan Indien peut protéger la mousson indienne, mais aggraver la sécheresse en Indonésie – plusieurs modèles prévoient une phase positive cet été. « Même

quand leur intensité est comparable, chaque El Niño suit une évolution qui lui est propre en termes de calendrier, de configuration spatiale, de couplage océan-atmosphère, et les impacts sont différents », insiste Muhammad Azhar Ehsan. Et « l'enfant terrible du climat » n'est pas synonyme de fléau pour tout le monde : la baisse attendue de l'activité des ouragans dans l'Atlantique est vécue comme un soulagement, tandis que les cultures intenses de soja d'Argentine et des États-Unis devraient profiter de précipitations très favorables. « D'accord, mais le bilan reste globalement négatif, un El Niño très fort agit comme un choc mondial asymétrique : ce sont les régions déjà vulnérables de la planète qui sont le plus durement touchées », grince David Laborde.

En tout cas, le monde se prépare pour éviter le pire.

Retrouvez nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par Epsilonon.

Comment la nuit s'éclaire

À partir de 1,2 million d'images satellite de la NASA, des chercheurs ont précisément cartographié pour la première fois l'évolution de l'éclairage nocturne. Des variations qui reflètent les crises économiques et géopolitiques du monde.

PAR LÉA DESRAYAUD

SOURCE : TIAN LI ET AL, *NATURE*, 2026

↑16%

Au global, la luminosité nocturne a augmenté entre 2014 et 2022.

80%

de la population mondiale est exposée à la pollution lumineuse.

3,5 millions de km²

ont vu leur luminosité changer au moins une fois, avec en moyenne **6,6** fluctuations. **1/2** ont subi des variations brutales.

-62%

La pollinisation s'effondre en zones éclairées.

2,5 fois moins d'étoiles

visibles en 20 ans à cause de l'éclairage nocturne.

L'ouverture de nouveaux puits de pétrole par fracturation hydraulique a fait exploser les volumes de gaz torchés au Texas, malgré de nouvelles réglementations en 2020-2021.

Les pannes de réseau électrique font disparaître le Venezuela dans la nuit.

Avec la croissance économique, l'accès à l'énergie se démocratise et la Côte d'Ivoire s'illumine sur une surface 2,5 fois plus grande qu'en 2014.

En France, **les politiques d'économies d'énergie** ont fait baisser la luminosité nocturne de 33% en 9 ans.

La destruction d'infrastructures par l'armée russe a entraîné un recul de 36% de la luminosité nocturne en Ukraine.

La densification urbaine et industrielle chinoise se manifeste par une extinction soudaine, au moment de la démolition des vieux quartiers, suivie par l'explosion de lumière des nouveaux immeubles.

Au moment du Covid-19 et du **confinement strict**, les grandes villes saoudiennes se sont éteintes brutalement.

La **crise économique** que connaît le Liban depuis 2019 se voit depuis l'espace, avec une baisse des éclairages nocturnes.

Corruption, mauvaise gestion... les centrales sud-africaines peinent à assurer l'approvisionnement et **des coupures de courant tournantes** plongent régulièrement les habitants dans le noir.



Évolution de la luminosité nocturne entre 2014 et 2022

L'électrification des zones rurales et le développement de l'éclairage public font briller de nouvelles régions dans le nord de l'Inde.

LA VIOLENCE SEMBLAIT POURTANT CATALYSÉE

1994

Selon des chercheurs anglais, la chaleur engendre une tension accrue, une impression négative du délinquant et un comportement agressif chez les policiers.

2000

Une étude américaine avance que les températures élevées augmentent la colère et l'hostilité, diminuent la vigilance et l'énergie, et accroissent l'agressivité et la violence.

2012

Le rôle du réchauffement climatique dans l'augmentation des conflits armés et le déclin de la civilisation maya classique est pointé par une étude internationale.

2024

Des travaux américains font état de liens historiques étroits entre une hausse des guerres civiles en Afrique et les années les plus chaudes.

Depuis Aristote, on associe les climats chauds aux tempéraments colériques. Et les données de terrains confirment le lien entre chaleur et agressivité au niveau sociétal : de nombreuses études établissent un rapport entre hausse des températures et augmentation de la criminalité, de la violence et même des conflits civils. Mais pour Alessandra Cassar, on se trompe de cible.

Le lien entre la chaleur et l'augmentation de la violence ou de la criminalité semble pourtant bien documenté...

C'est vrai, mais cette littérature observationnelle, bien que très cohérente sur ce lien, reste floue quant au mécanisme sous-jacent. Nous avons donc souhaité tester cette hypothèse plus rigoureusement, dans des contextes culturels plus variés. Et nous trouvons qu'elle ne résiste pas à un examen approfondi.

Comment avez-vous conçu vos expériences ?

Nous avons travaillé en laboratoire, et soumis à nos protocoles 1 636 étudiants de cinq pays : États-Unis, Mexique, Colombie, Inde et Kenya. Nous les avons répartis aléatoirement dans des salles à différentes températures, d'environ 18°C à 34°C. Ils ont ensuite joué à une série de jeux économiques incitatifs : un tournoi compétitif et des jeux du dictateur, qui permettent de révéler si un individu préfère un partage égal, s'il privilégie les gains communs ou agit de manière égoïste ou malveillante. Nous

avons également prévu un « déclencheur » qui permet de faire varier aléatoirement une défaite frustrante...

Or les participants ne deviennent pas plus asociaux ?

Pas du tout. En dépit d'une baisse d'humeur nette et statistiquement significative induite par la chaleur – les participants se sentent plus fatigués, frustrés et malheureux –, nous n'avons vu émerger aucun comportement moins prosocial ou antisocial. Les personnes installées dans des pièces chaudes n'étaient ni plus égoïstes, ni plus malveillantes, ni plus compétitives, ni moins généreuses que celles qui se trouvaient dans des pièces confortables. La chaleur a donc clairement un impact négatif sur le bien-être des individus, mais pas sur leur comportement envers les autres.

Et votre conclusion se vérifie dans les cinq pays étudiés ?

Oui. Bien que les pays diffèrent significativement les uns des autres quant à leur niveau de base de générosité, de compétitivité, etc. L'absence d'effet de la chaleur s'est maintenue de manière constante dans ces cinq contextes culturels et économiques très différents.

La chaleur tendrait même à réduire les actes de méchanceté...

Nous avons effectivement observé un effet modeste où une chaleur plus intense est associée à une diminution des comportements malveillants, et non à leur augmentation : dans l'expérience, les participants avaient tendance à partager davantage leurs ressources.



Non, la chaleur ne rend pas agressif

Alessandra Cassar

Professeure d'économie à l'université de San Francisco, elle étudie la contribution des processus évolutifs, dont le changement climatique, à la modification du comportement humain.

La chaleur ne serait donc pas à l'origine des conflits ?

Non, le genre et la culture sont en l'état des prédicteurs de comportement bien plus puissants et constants que la température. Dans les cinq pays étudiés, les femmes étaient nettement plus égalitaires, moins compétitives et moins soucieuses de maximiser les gains totaux que les hommes. La culture joue aussi un rôle important : les participants américains, par exemple, ont fait preuve d'une bien plus grande tolérance face aux inégalités et d'une préférence plus marquée pour la maximisation des ressources totales que ceux des quatre autres pays. Ce qui reflète des différences de normes sociales, de valeurs et d'institutions qui se sont construites au fil du temps ; sans lien direct avec la température.

Il existe donc des facteurs de confusion...

C'est certain. N'oublions pas que dans la réalité, la chaleur n'est jamais un phénomène isolé : les périodes de forte chaleur coïncident souvent avec une consommation accrue d'alcool, des troubles du sommeil, des difficultés économiques liées à une baisse de la productivité agricole et un temps plus long passé dans des espaces extérieurs ou sociaux bondés. Chacun de ces facteurs pourrait être à l'origine de la corrélation entre chaleur et criminalité observée dans les données, plutôt qu'un effet direct de la chaleur sur les comportements sociaux. Notre expérience en laboratoire élimine ces facteurs de confusion.

Face aux vagues de chaleur de plus en plus fréquentes, votre conclusion est inspirante...

Il est rassurant de constater que la hausse des températures n'altère pas directement l'instinct de justice et de générosité des individus. Et ce résultat

est remarquable précisément parce qu'il va à l'encontre de l'intuition. Mais d'un point de vue évolutif, ce n'est pas illogique : les humains ont survécu dans certains des climats les plus rigoureux de la planète, non pas en devenant plus égoïstes et individualistes, mais en se soutenant mutuellement. Historiquement, les difficultés partagées semblent avoir été une force unificatrice, favorisant la coopération et l'entraide plutôt que l'hostilité. Une vague de chaleur, comme d'autres formes d'adversité collective, peut constituer une menace commune qui rapproche les individus au lieu de les diviser.

PROPOS RECUEILLIS
PAR ALEXANDRA PIHEN
ILLUSTRATION RÉALISÉE PAR
DAVID DESPAU, COLAGENE.COM

SANTÉ

Le cannabis médical est-il vraiment efficace ?

Cinq ans après le début de l'expérimentation française, le calendrier de l'autorisation de l'usage thérapeutique des substances cannabinoïdes est défini : les autorités de santé visent une généralisation d'ici à 2027. Les effets de ce traitement font-ils consensus ? Nous avons posé la question aux spécialistes.

PAR LOUANE VELTEN – ILLUSTRATIONS RÉALISÉES PAR NOÉLIA DE ALDA

« Nous arrivons au bout d'un long processus », se réjouit Nicolas Authier, psychiatre et pharmacologue, président du comité scientifique de l'ANSM, l'Agence nationale de la sécurité du médicament, pour l'usage thérapeutique du cannabis. Depuis février, le ministère de la Santé et les acteurs du secteur du cannabis planchent sur deux projets de décret qui sont sur le point d'être présentés au Conseil d'État. L'un permettra à l'ANSM d'autoriser la prescription de médicaments à base de substances cannabinoïdes sous forme d'huiles. L'autre ouvrira le débat au niveau de la HAS, la Haute Autorité de santé, sur l'encadrement des prix et surtout sur le remboursement de ces médicaments.

L'ANSM a retenu cinq indications : douleurs neuropathiques réfractaires, spasticité douloureuse (raideurs et contractions musculaires liées à la sclérose en plaques), épilepsies réfractaires et pharmacorésistantes, situations palliatives et symptômes rebelles en oncologie. Au total, 3 164 patients en impasse thérapeutique ont été suivis pendant trois ans ; quelques dizaines continuent à en bénéficier dans l'attente d'une autorisation.

POTENTIEL CONSIDÉRABLE

L'objectif n'était pas de juger de l'efficacité du cannabis médical, mais d'évaluer la réponse du système de soins, la formation des médecins et des pharmaciens. Elle a néanmoins fait l'objet de plusieurs

études. Et le verdict est positif, même si ça paraît peu : 25 à 30% des patients ont vu un effet significatif sur leurs douleurs ; après trois à six mois de traitement, plus aucun ne décrivait de douleurs insupportables, et une petite partie d'entre eux a pu diminuer sa consommation d'antalgiques. « Ce niveau d'efficacité est relativement faible, mais il reste intéressant dans des cas d'impasse thérapeutique, quand rien d'autre ne fonctionne. Offrir cette nouvelle classe de médicaments relève d'une dimension éthique, compassionnelle, même s'ils ne sont efficaces "que" sur un tiers des patients », estime Nicolas Authier.

Sur le papier, le cannabis a un potentiel considérable, car il agit sur notre





De grandes attentes en France

400 000

C'est le nombre de **patients** qui pourraient bénéficier du cannabis thérapeutique, selon les estimations de médecins ou d'associations de patients.

90 %

des Français sont favorables au **cannabis thérapeutique**.

21

pays européens sur 27 ont déjà légalisé le cannabis thérapeutique.

système endocannabinoïde, qui participe à la régulation de nombreuses fonctions neuronales. «Le récepteur des substances cannabinoïdes, le CB1, est l'un des plus représentés du système nerveux; il est partout. Il module l'action des interneurons qui, eux-mêmes, régulent l'activation des neurones», détaille Giovanni Marsicano, neuroscientifique spécialiste

du sujet au Neurocentre Magendi de Bordeaux. Cette régulation très fine s'opère grâce à la libération d'endocannabinoïdes par les cellules. «Quand on consomme du cannabis, on vient surcharger tous ces récepteurs, et on observe alors un effet en deux phases. D'abord, l'activation mime l'effet naturel du système: relaxation musculaire, diminution de la douleur, effet anxiolytique, diminution de la neuro-inflammation, etc. Mais quand les doses augmentent ou quand on continue à consommer, l'effet s'inverse, car le système ne peut plus se réguler. Là, on observe des effets négatifs: psychotropes, augmentation de l'anxiété, etc.»

Le dosage des différents composés est donc crucial, mais pas uniquement. Le cannabis est une plante qui comporte plus d'une centaine de ces molécules dites cannabinoïdes; on connaît surtout le THC (ou tétrahydrocannabinol), responsable des effets psychoactifs, et le CBD (ou cannabidiol). «Mais on sait très peu de choses sur l'effet de ces deux molécules sur le corps, comment, où et à quel point elles agissent sur les signaux douloureux, sur l'humeur, sur la mémoire, l'attention, etc. Et encore moins sur les effets des dizaines d'autres molécules ou sur la façon dont elles interagissent», souligne Carrie Cutler, professeure en psychologie à l'université de l'État de Washington. →

Analyse

La pénalisation n'a pas facilité les travaux. « *Le cannabis n'est pas développé par les laboratoires; il ne bénéficie pas de cette recherche du rapport bénéfice-risque... On manque de données fiables scientifiquement* », regrette Nicolas Authier. Même aux États-Unis, malgré la dépénalisation dans des dizaines d'États et l'intérêt porté à ces substances, le domaine peine à se structurer. En 2025, environ 4000 études sur des sujets sont parues dans des revues scientifiques. « *Mais leur qualité est très aléatoire: certaines se basent sur le cannabis fumé, d'autres sur des huiles, plus ou moins dosées en THC et CBD... C'est très compliqué de créer une base de connaissances homogène dans ces conditions* », déplore Jodi Gilman, professeure en psychologie à l'université Harvard.

CONTRADICTOIRES

Et quand on se penche sur cette littérature hétérogène, les résultats thérapeutiques restent médiocres. Fin 2025, une méta-analyse regroupant 124 études triées parmi plus de 2500 publiées entre janvier 2010 et septembre 2025 concluait qu'en dehors des quelques indications qui disposent déjà d'autorisations, les résultats des essais cliniques ne permettent pas de recommander le cannabis dans la plupart des affections pour lesquelles il est préconisé, comme la douleur aiguë, l'insomnie, l'anxiété.

Les chercheurs pointent nombre de résultats contradictoires. Par exemple, du côté de la douleur, certaines études

montrent une réduction de plus de 50% des symptômes après consommation de substances cannabinoïdes, quand d'autres ne trouvent aucune différence. De manière générale, très peu d'essais cliniques randomisés en double aveugle (l'étalon or de la recherche) ont montré un bénéfice significatif.



Plus je travaille dessus, plus je suis sceptique

Jodi Gilman,
professeure en psychologie
à l'université Harvard

L'une des dernières études en date, publiée début 2026, conclut ainsi à une réduction de l'intensité des douleurs de l'ordre de seulement 0,5 point sur 10 après la prise de CBD – c'est moins que l'effet placebo dans nombre d'autres essais. « *On voit de tout au niveau des études au sujet de l'effet du cannabis sur la douleur, parfois c'est très positif, souvent ça ne change pas grand-chose* », résume Jodi Gilman. Elle est sur le point de publier, elle aussi, les résultats d'un essai clinique sur les douleurs chroniques. « *Nous n'avons pas trouvé d'effet sur la gestion de la douleur et le cannabis n'a pas non plus permis aux patients de diminuer leurs doses d'antidouleurs.* »



Il en va de même concernant l'effet sur la santé mentale: anxiété, dépression, insomnie, trouble du stress post-traumatique... Environ 40% des prescriptions de cannabis médical visent à soulager ces maux. « *Mais là encore les données sont hétérogènes. Le sommeil semble légèrement amélioré sur le long terme, surtout par le CBD. Par contre, pour l'anxiété, les effets sont nuls, voire délétères dans le cas de la dépression*, détaille Jodi Gilman. Depuis quelques mois, plusieurs résultats commencent à remettre en question l'efficacité des substances cannabinoïdes. Pour ma part, plus je travaille dessus, plus je deviens sceptique. » En 2026, une méta-analyse de 54 études concluait d'ailleurs que compte tenu du « manque de données probantes, le recours systématique aux cannabinoïdes pour les troubles mentaux est rarement justifié ».

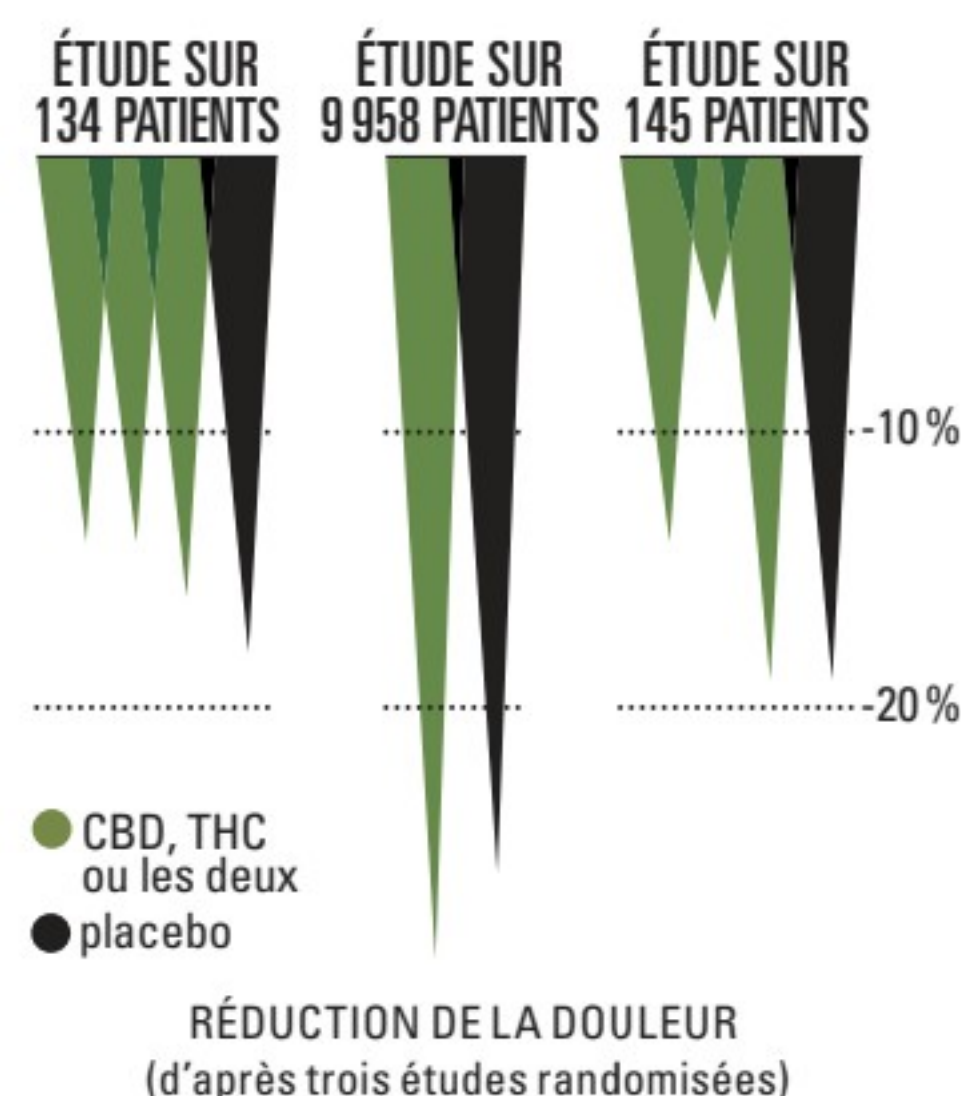
Reste que des milliers de personnes dans le monde parlent d'un soulagement.

Le cannabis, objet politique

Le sujet ne manquera pas de revenir avec la présidentielle. La France est le deuxième consommateur de cannabis en Europe. « *Nous avons pourtant une des lois les plus répressives*, pose Marie Jauffrey-Roustide, à l'Inserm. *Sauf que les études montrent que le niveau de contrôle, les risques d'amende, de prison ne sont pas corrélés à une baisse des usages.* » Ainsi, le Portugal, où toutes les drogues sont légalisées, est un des pays les moins consommateurs. « *En France, le cannabis fait l'objet d'une forte instrumentalisation politique, de peurs et d'une panique morale. Ce qui empêche d'avoir un débat serein autour d'une utilisation médicale.* »

Le cannabis médical a peu d'effet sur la douleur

La douleur est la principale indication pour une prescription, pourtant l'effet étudié lors d'essais cliniques est souvent plus faible ou similaire au placebo.



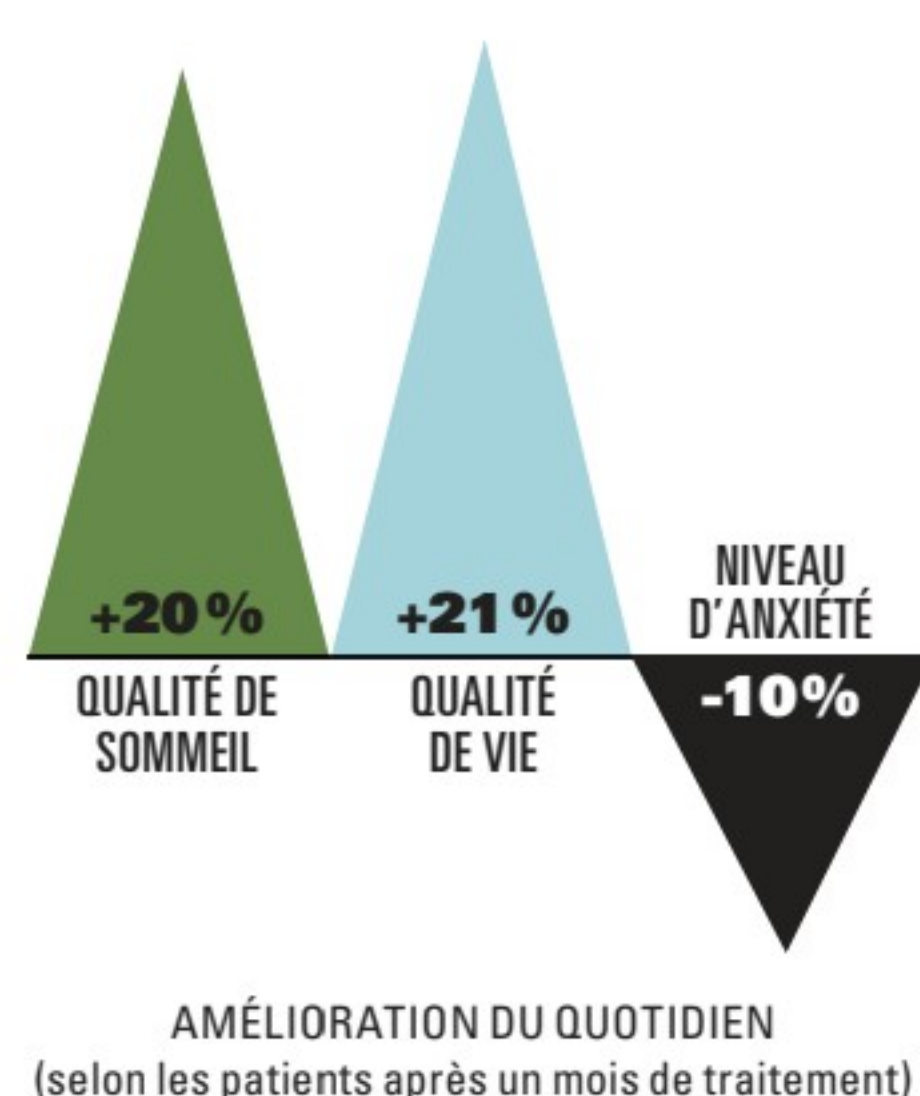
Il n'y a pas d'études fiables sur le traitement des troubles mentaux

Difficile de juger de l'efficacité du cannabis sur la santé mentale quand la plupart des études souffrent de biais majeurs. Le domaine peine encore à se structurer.



Le ressenti des patients est très positif

Contrairement aux résultats expérimentaux, les patients sondés rapportent une amélioration claire de leur qualité de vie, de leur sommeil, de leur anxiété.



SOURCES : HANSEN ET AL, *PHARMACEUTICALS*, 2023 ; STOCKINGS ET AL, *PAIN*, 2018 ; ZUBCEVIC ET AL, *EJP*, 2022 ; WILSON ET AL, *LANCET PSYCHIATRY*, 2026 ; TAIT ET AL, *EXPERT REV. NEUROTHER*, 2023

« Il y a un écart énorme entre le niveau de preuve expérimental et celui fondé sur le ressenti des patients », souligne la sociologue spécialiste des drogues à l'Inserm Marie Jauffret-Roustide. « Il n'est peut-être pas efficace pour tout le

preuve, en dernière intention. « Il n'est pas question de proposer du cannabis pour une douleur aiguë ou pour des troubles de santé mentale, et il serait utilisé uniquement quand les autres traitements, qui ont fait leurs preuves, ne sont pas efficaces », insiste Nicolas Authier.

Sachant que les médicaments utilisés pendant l'expérimentation française ont montré une grande sûreté d'emploi, avec moins de 6% d'effets indésirables graves,

tous étant connus et réversibles. Et que le développement d'une addiction, qui pourrait amener les patients à se procurer du cannabis non thérapeutique, a fait l'objet d'une surveillance poussée. Parmi les 3164 patients étudiés, seuls 7 ont eu un syndrome de sevrage, et

2 cas de mésusage ont été identifiés, dont 1 trouble de l'usage. « Il existe un risque, le suivi des patients est important. Mais rien n'indique qu'une législation sur le cannabis médical s'accompagnerait d'une augmentation globale de la consommation », rappelle Marie Jauffret-Roustide.

D'après plusieurs sondages, 9 Français sur 10 sont favorables à une telle loi, ainsi que la plupart des médecins. « Cela vient combler un besoin », estime la sociologue. Maintenant que l'ANSM est prête à autoriser ces produits, tout dépendra des décisions de la HAS concernant le remboursement. « Cela va déterminer le niveau d'accès aux médicaments pour les patients », prévient Nicolas Authier.

Retrouvez nos sources sur epsilon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par Epsilon.

Le plus important, c'est qu'il soulage et améliore la qualité de vie de certaines personnes

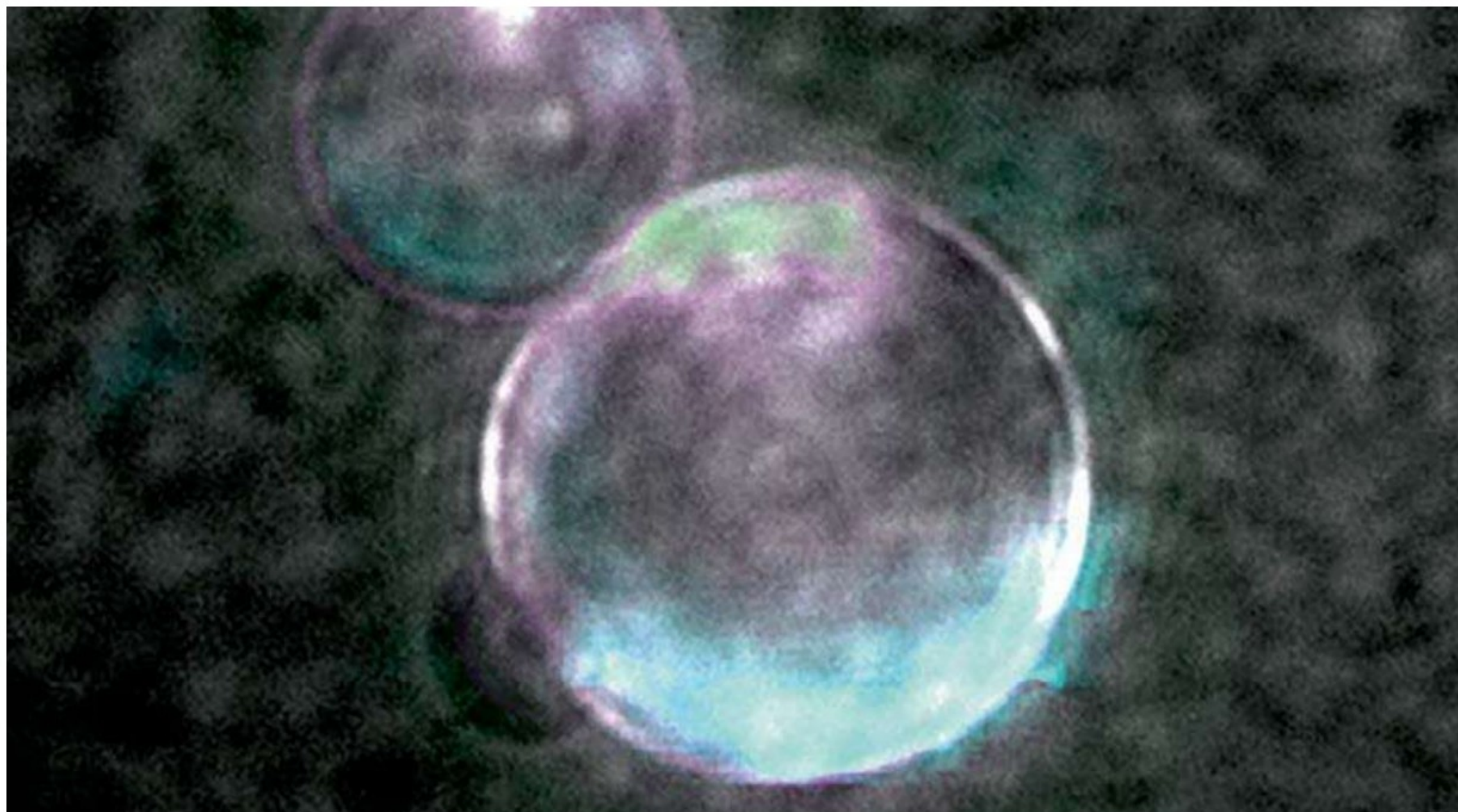
Carrie Cutler, professeure en psychologie à l'université de l'État de Washington

monde, et peut-être qu'une partie de son action est due au placebo, mais le plus important, c'est qu'il soulage et améliore la qualité de vie de certaines personnes », ajoute Carrie Cutler.

En France, le choix s'est porté sur les indications aux plus forts niveaux de

C'est dans l'air

L'HISTOIRE SE RÉPÈTE



Quand on annonce la vie artificielle

Le 2 juillet 2026

Des cellules synthétiques sont présentées

Ce sont juste des microbilles de graisse remplies d'eau dans lesquelles des biologistes américains ont placé des petits bouts d'ADN. Dotées de seulement 36 gènes, ces entités dénommées SpudCells – «cellules patates» – peuvent se multiplier comme des cellules vivantes, mais elles sont incapables de survivre hors d'un liquide leur fournissant énergie vitale et de quoi produire leurs protéines.

Le 4 octobre 2022

Des protocellules étaient créées

«Des cellules artificielles prennent vie», titre la revue *Nature*. Quatre chercheurs, dont un Français, fabriquent dans des microgouttelettes des protocellules à partir de bactéries *Escherichia coli*. En modifiant les conditions physico-chimiques à l'intérieur des gouttelettes, ils brisent les membranes des bactéries et forcent leurs débris à se réorganiser en de nouvelles entités pseudo-cellulaires.

Le 25 mars 2016

Un métabolisme succinct fonctionnait

Ce serait le plus petit ADN nécessaire à la vie, soutient l'équipe américaine du biologiste moléculaire Craig Venter. En procédant par élagage successif du génome de la bactérie *Mycoplasma mycoides*, les chercheurs constatent que 473 gènes suffisent à une bactérie génétiquement modifiée pour continuer à se diviser. Cet OGM nommé JCVI-syn3.0 possède le plus petit génome bactérien connu.

Le 20 mai 2010

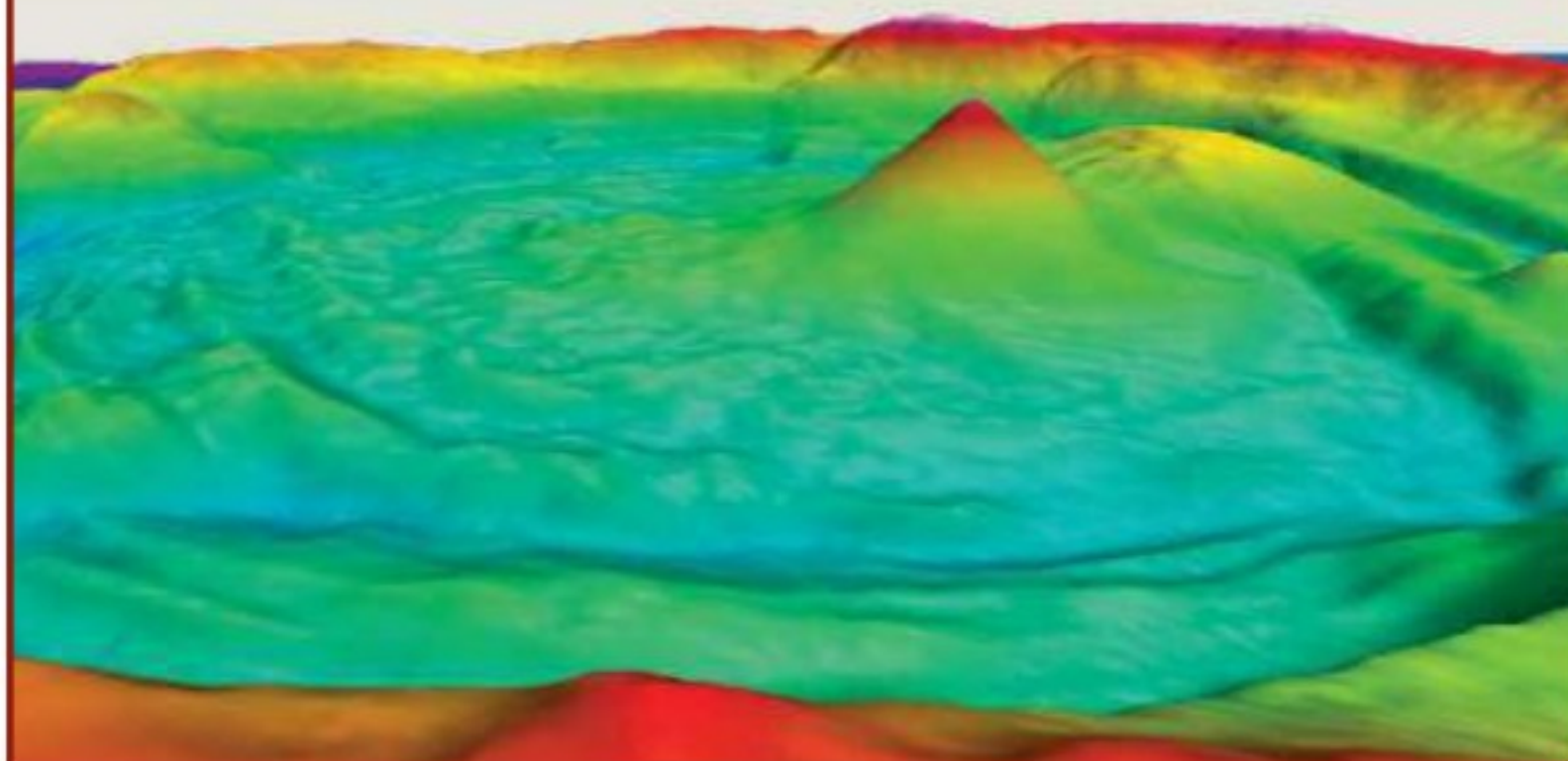
De l'ADN synthétique se répliquait

Craig Venter s'enorgueillit d'avoir créé la première bactérie synthétique ! L'exploit a surtout consisté à synthétiser un génome de 1,08 million de bases A, T, C et G, copie de celui de la bactérie *Mycoplasma mycoides*. Puis à l'injecter dans des bactéries vivantes – de l'espèce cousine *Mycoplasma capricolum* – et de constater qu'une de ces bactéries continuait sa vie à l'aide de ce seul ADN synthétique. **J.-B.V.**

À PART ÇA

73 cratères sous-marins viennent d'être découverts

« Nous avons utilisé un algorithme conçu initialement pour la détection automatique des cratères d'impact de météorite sur Mars, raconte Andrea Verolino, chercheur à l'université Paris-Saclay. Mais ce que l'on cherchait était plus complexe... » Le jeune géologue traque des caldeiras sous-marines, de vastes dépressions pas forcément très circulaires ou régulières, signalant un effondrement de la chambre magmatique au sommet d'un volcan – souvent suite à une éruption dévastatrice. Sachant que 30 % seulement du plancher océanique sont correctement cartographiés à ce jour, et que les alentours des 43 000 monts sous-marins répertoriés par satellite altimétrique sont souvent très flous. « On ne pouvait raisonnablement pas le faire à l'œil nu... » L'IA a d'abord repéré 87 435 formations possibles. Après avoir introduit les bons filtres, il ne restait plus que 514 candidates, qui ont fait l'objet d'une inspection visuelle scrupuleuse : les géophysiciens ont vérifié la continuité des bords, la présence de parois très abruptes – à la différence des pentes douces des vieux atolls. L'algorithme a été incapable de reconnaître certaines des caldeiras les plus connues du monde, comme celle de Santorin, de Krakatau ou de Hunga Tonga, qui a explosé en 2022 – souvent parce que leur indice de circularité est inférieur à 50 % –, mais il a déniché 73 nouvelles structures volcaniques atteignant parfois 20 km de diamètre, et reposant jusqu'à 5600 m de profondeur. Soit le double du catalogue connu jusqu'à présent. « Mais ce n'est sans doute pas grand-chose par rapport à ce qu'il reste à découvrir... » On attend la suite. **V.N.**



ET AUSSI



On a vu des requins-lutins

Deux spécimens ont été filmés au centre du Pacifique, jusqu'à 2000 m de profondeur. Cette créature quasi mythologique, avec son museau hyperpointu et ses mâchoires capables de se projeter en avant, n'avait été croisée que dans des filets de pêche.



Un gisement d'hélium en France

La start-up 45-8 Energy annonce avoir détecté dans le Doubs des accumulations significatives de ce gaz indispensable à la fabrication des semi-conducteurs, à l'industrie spatiale, aux IRM, etc. Pas de quoi concurrencer le Qatar, mais c'est toujours ça.



Une fusée explose en orbite

C'est l'étage supérieur de Zhuque-2E Y6, opéré par une compagnie chinoise, qui s'est désintégré en près de 150 débris vers 400 km d'altitude. Une zone très fréquentée par les satellites en transit, notamment ceux de Starlink. Quel bazar...



La grippe aviaire débarque en Australie

La souche hautement pathogène de H5N1 y a été détectée sur un oiseau migrateur. L'île-continent était le dernier endroit épargné par ce fléau qui touche, depuis 2021, d'innombrables espèces de volatiles et de mammifères – dont quelques humains.

LE TROU NOIR CLASSIQUE

Selon la masse de leur étoile, les trous noirs les plus fréquents font 10 masses solaires et 30 km de rayon.

SPÉCIMENS HISTORIQUES

Ces deux trous noirs, de 29 et 36 masses solaires, sont les premiers à avoir été détectés le 14 septembre 2015, grâce aux ondes gravitationnelles issues de leur fusion.

ÉNORME

C'est le plus massif jamais détecté : 137 fois la masse du Soleil. Sachant qu'il a fusionné avec un trou noir de 101 masses solaires, créant un monstre de 225 masses solaires.

SECONDE GÉNÉRATION

D'après sa rotation, ce trou noir ne peut être né directement de l'effondrement d'une étoile : il est issu de la fusion de deux trous noirs.

TROP PETIT

Avec 2,6 masses solaires, cet objet est théoriquement trop petit pour être un trou noir (il n'est pas assez lourd pour s'être effondré), mais trop gros pour être une étoile à neutrons...

masse
du trou
noir

1
MASSE
SOLAIRE

50

100



La population des trous noirs

PAR LÉA DESRAYAUD ET MATHILDE FONTEZ

D'où viennent ces données

La collaboration LIGO-Virgo-KAGRA vient de publier en mai son dernier catalogue : depuis 2015, 390 ondes gravitationnelles ont été détectées, la plupart provoquées par des fusions de trous noirs. De quoi commencer à dresser la carte de leur population dans notre environnement cosmique.

Offrez (vous) un abonnement

Le mensuel + le hors-série



ou

Le mensuel



En plus, nous vous offrons la version numérique du magazine.

Mieux : vous aurez accès à tous les articles d'Epsilon depuis le premier numéro sur l'appli !

découvrez nos offres



SUR EPSILOON.COM

ou scannez le QR code



par téléphone

01 87 64 09 62

Du lundi au vendredi de 9 h à 19 h - le samedi de 9 h à 14 h



MATHÉMATIQUES

L'IA A EU UNE IDÉE !

C'est un événement. Pour la première fois, une intelligence artificielle a proposé une idée originale et féconde pour réfuter une célèbre conjecture mathématique. Une nouvelle étape de l'histoire des sciences qui va bouleverser la manière de faire de la recherche, de former les scientifiques... et peut-être même redéfinir ce qu'est une idée.

PAR CLÉMENTINE LAURENS

42

20 MAI 2026 : POUR LA PREMIÈRE FOIS, UNE IA APPORTE UNE IDÉE ORIGINALE ET DÉCISIVE

44

27 MAI 2026 : UNE SEMAINE PLUS TARD, L'IDÉE DÉCLENCHÉ UNE DEUXIÈME DÉMONSTRATION MAJEURE

20 MAI 2026

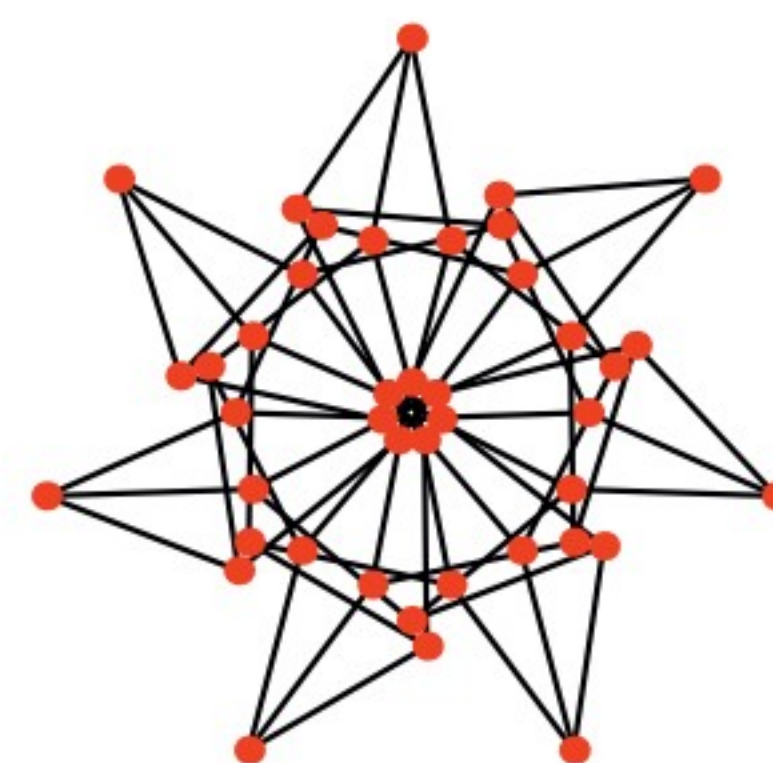
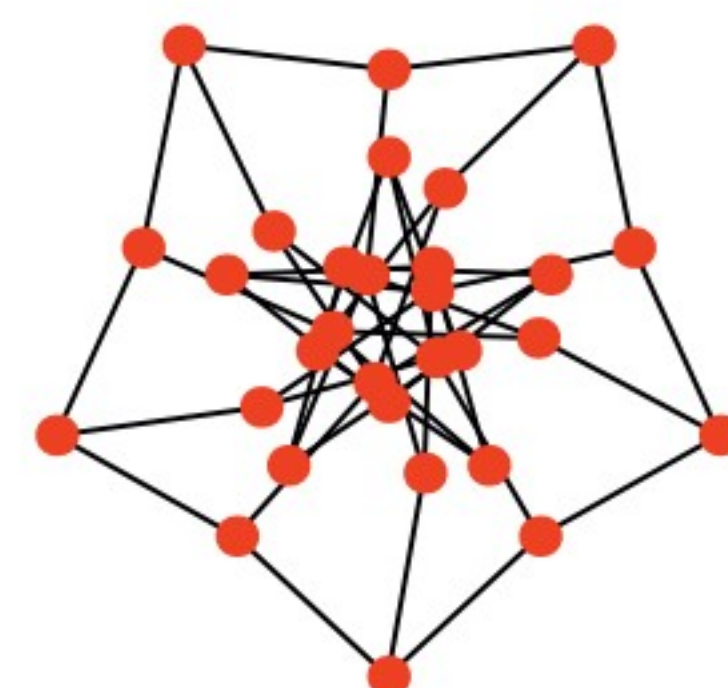
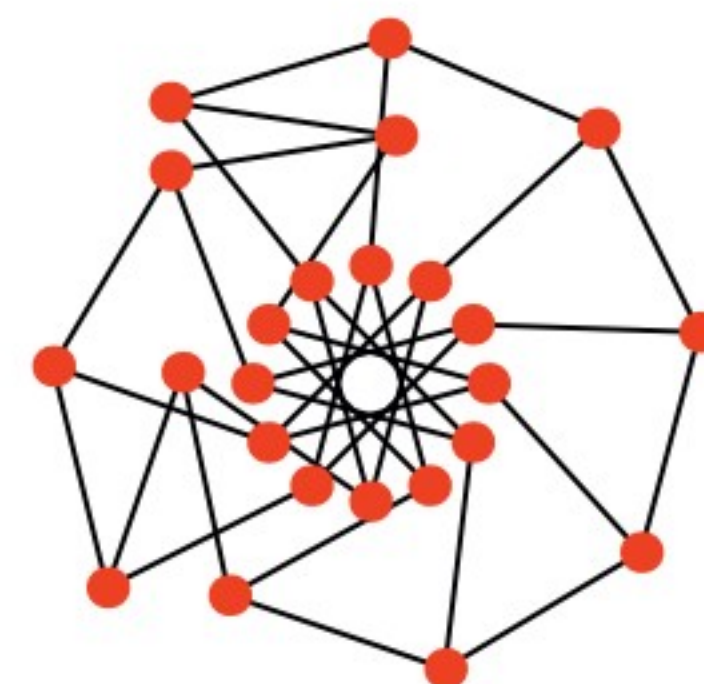
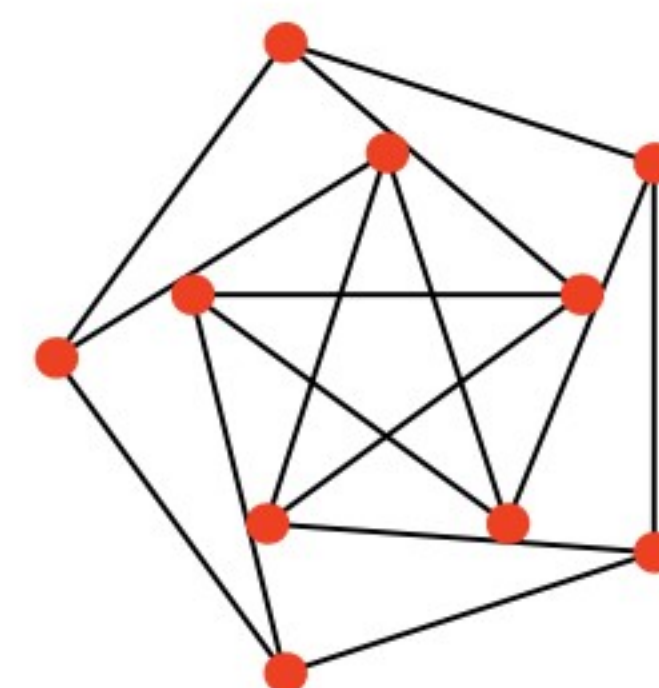
Pour la première fois, une IA apporte une idée originale et décisive

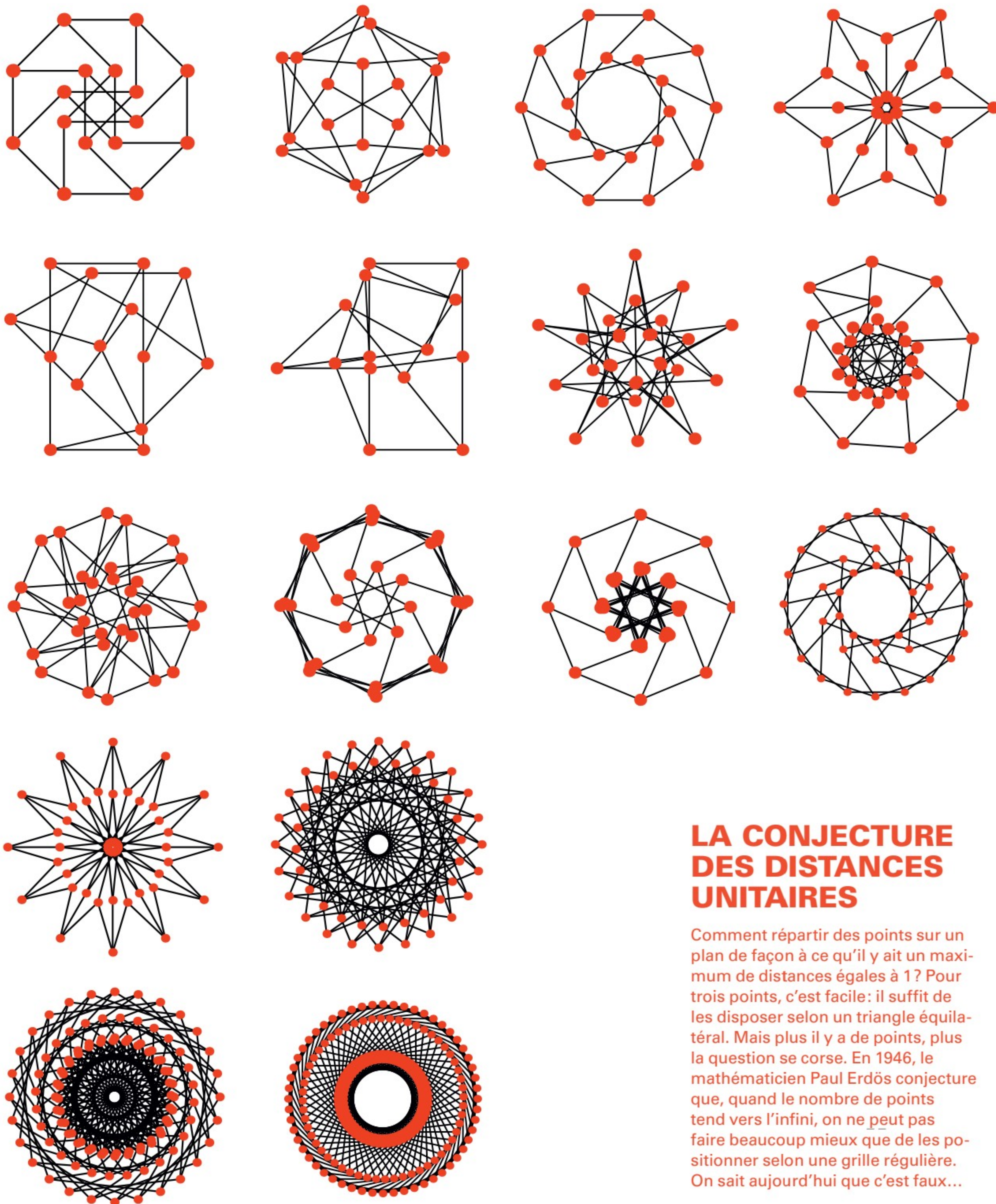
C'est l'un des problèmes les mieux étudiés et les plus emblématiques des mathématiques « discrètes », par opposition à « continues » – il s'agit de bien positionner des points sur une feuille de papier. Le problème « des distances unitaires » a résisté pendant plus de quatre-vingts ans aux assauts des humains. Avant d'être vaincu en mai de cette année par une IA. Plus précisément, par un modèle de raisonnement (LLM) de la société OpenAI, pas spécialement entraîné pour les mathématiques, assure l'entreprise – une assertion invérifiable mais jugée crédible par les experts indépendants.

« La difficulté du problème provient de son caractère hautement combinatoire : il y a énormément de possibilités pour répartir un grand nombre de points dans le plan, donc il est très compliqué de trouver la meilleure configuration », explique Will Sawin, mathématicien à l'université de Princeton, aux États-Unis. Il existait pourtant une conjecture : quand le nombre de points devient très grand, l'avis dominant était qu'il était quasi optimal de les positionner de façon régulière. Personne n'avait trouvé de meilleur moyen, mais personne n'avait non plus réussi à le démontrer. Or surprise : l'IA d'OpenAI vient de démontrer qu'il existe en fait une meilleure solution... La machine a emprunté un chemin détourné : « Le résumé public de la chaîne de raisonnement [du modèle] montre qu'il a exploré les constructions classiques, leurs limites, puis a identifié

les corps de nombres comme une piste prometteuse », annonce OpenAI. Cette piste avait déjà été explorée : les « corps de nombres » permettent de construire des configurations de points, non pas dans le plan, mais dans des espaces de plus grande dimension – pour revenir à une solution en 2D, il suffit de projeter la configuration sur le plan, comme si l'on aplatissait le dessin. Seulement voilà : jusqu'à présent, cette méthode ne semblait pas aboutir. Il manquait aux humains une idée, qu'a eue l'IA. « Ce que l'on n'avait pas compris, c'était qu'il ne fallait pas rester bloqué dans une dimension en particulier », résume Will Sawin. La machine, elle, a opéré des choix subtils pour construire une suite de configurations avec de plus en plus de points en passant dans des dimensions de plus en plus grandes. Ce qui lui a permis de trouver des configurations meilleures que la répartition régulière. CQFD.

« Si ce problème peut sembler récréatif, il n'en est rien. Il est lié de très près à d'autres champs des mathématiques, dont la théorie des nombres et la géométrie algébrique. Cette réfutation est à mon avis une réussite exceptionnelle », écrit Noga Alon, à Princeton, dans un commentaire d'exégèse du résultat. Avis partagé par Thomas Bloom, de l'université de Manchester : « Je n'ai aucun doute quant au fait que cette construction et les idées impliquées auront un impact majeur en géométrie discrète. »





LA CONJECTURE DES DISTANCES UNITAIRES

Comment répartir des points sur un plan de façon à ce qu'il y ait un maximum de distances égales à 1 ? Pour trois points, c'est facile : il suffit de les disposer selon un triangle équilatéral. Mais plus il y a de points, plus la question se corse. En 1946, le mathématicien Paul Erdős conjecture que, quand le nombre de points tend vers l'infini, on ne peut pas faire beaucoup mieux que de les positionner selon une grille régulière. On sait aujourd'hui que c'est faux...

Une semaine plus tard, l'idée déclenche une deuxième démonstration majeure

En mathématiques, la qualité et la puissance d'une démonstration se mesurent, entre autres, à leur capacité à débloquent d'autres axes de recherche. « *Dès la mise en ligne du résultat, les spécialistes qui avaient eu accès à la démonstration en amont ont prédit que cette nouvelle idée introduite par l'IA pour résoudre la conjecture des distances unitaires pourrait ouvrir la voie à la résolution d'autres problèmes* », témoigne Sylvia Serfaty, mathématicienne à Sorbonne Université et à l'université de New York. Cela n'a pas tardé. Sept jours après la mise en ligne du résultat, une autre prépublication apparaît sur le site ArXiv : Will Sawin, Thomas Bloom, Carl Schildkraut et Dmitrii Zhelezov réfutent cette fois la conjecture somme-produit pour les nombres réels, en soulignant s'être inspirés de l'idée de la machine d'OpenAI. « *On ne peut pas dire que les problèmes résolus précédemment par l'IA satisfaisaient à ce critère de fertilité*, reprend la chercheuse. *C'est une première. Et il est sûr qu'il y en aura d'autres.* »

Même si cela ne saute pas aux yeux, les deux problèmes sont en fait assez proches. « *Suffisamment, en tout cas, pour que beaucoup de gens pensent que si l'un des deux était résolu, le second tomberait sans doute rapidement* », assure Will Sawin. Dès qu'ils ont eu connaissance du résultat d'OpenAI, les quatre complices ont donc commencé à travailler sur ce

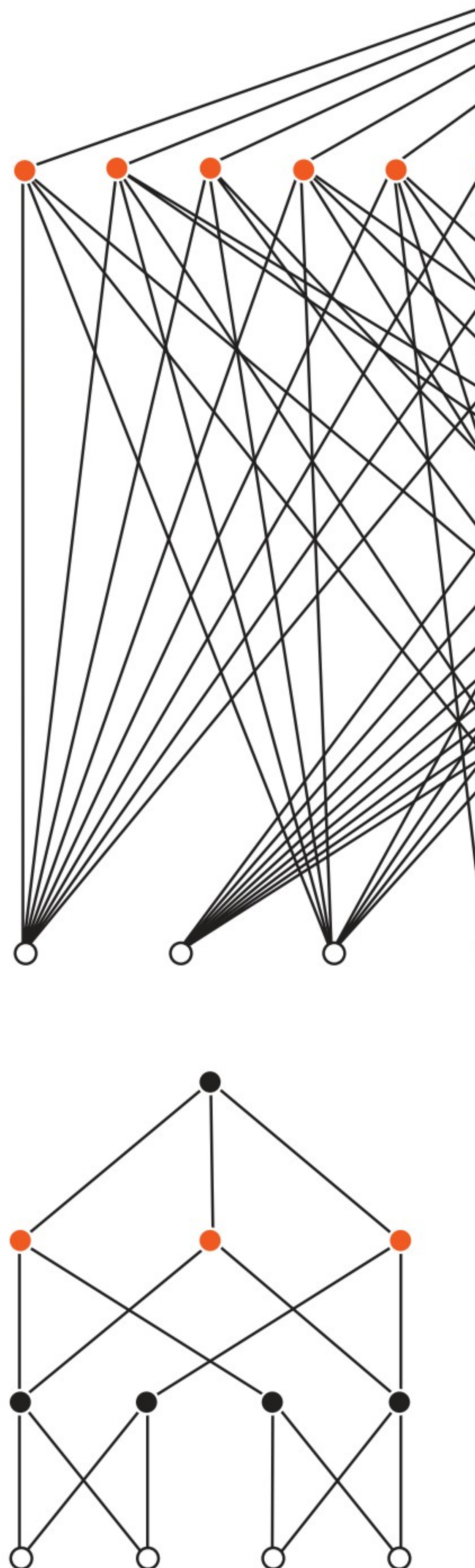
second problème. Éclairés par la réussite de l'IA, ils ont rapidement progressé.

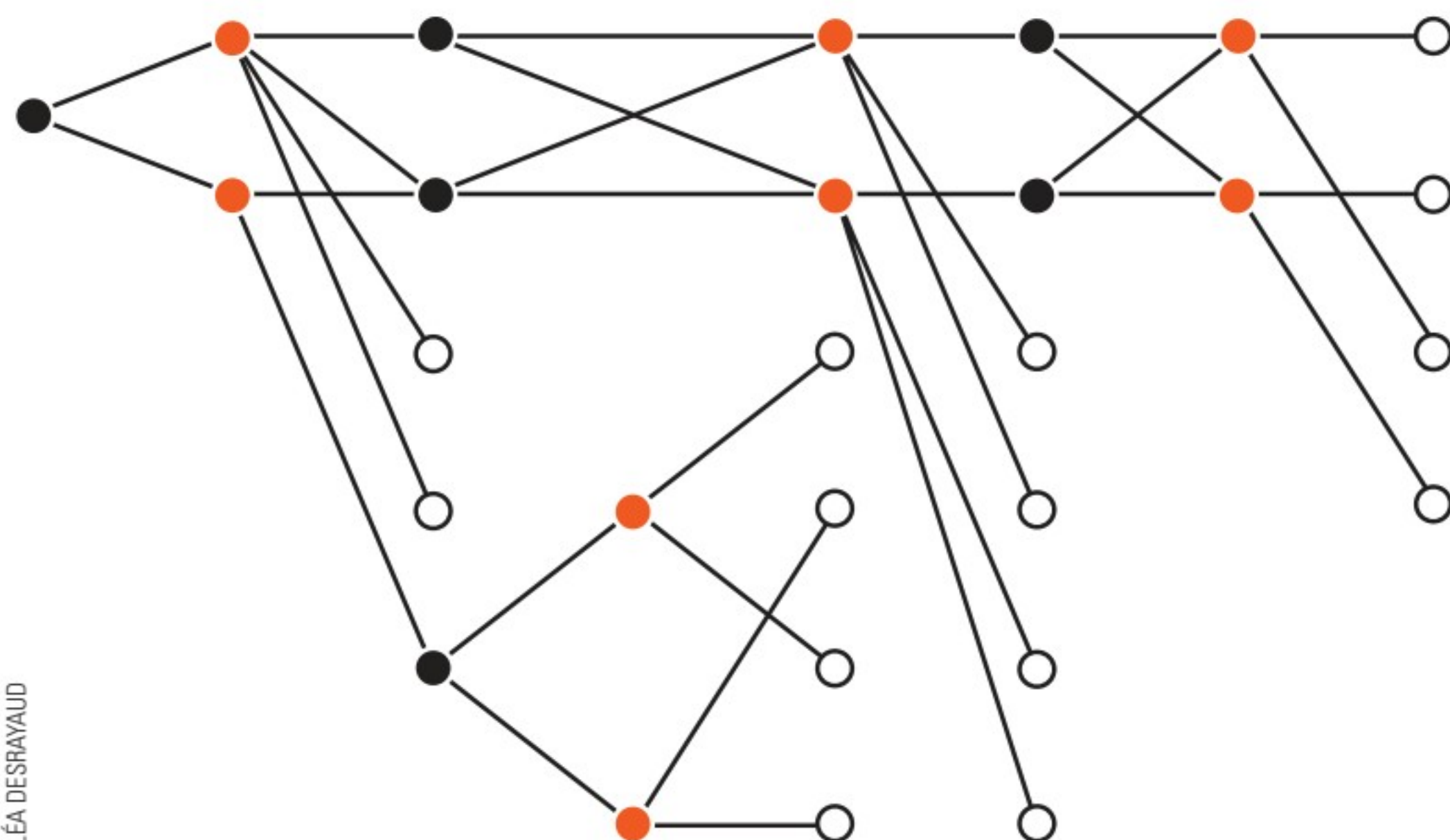
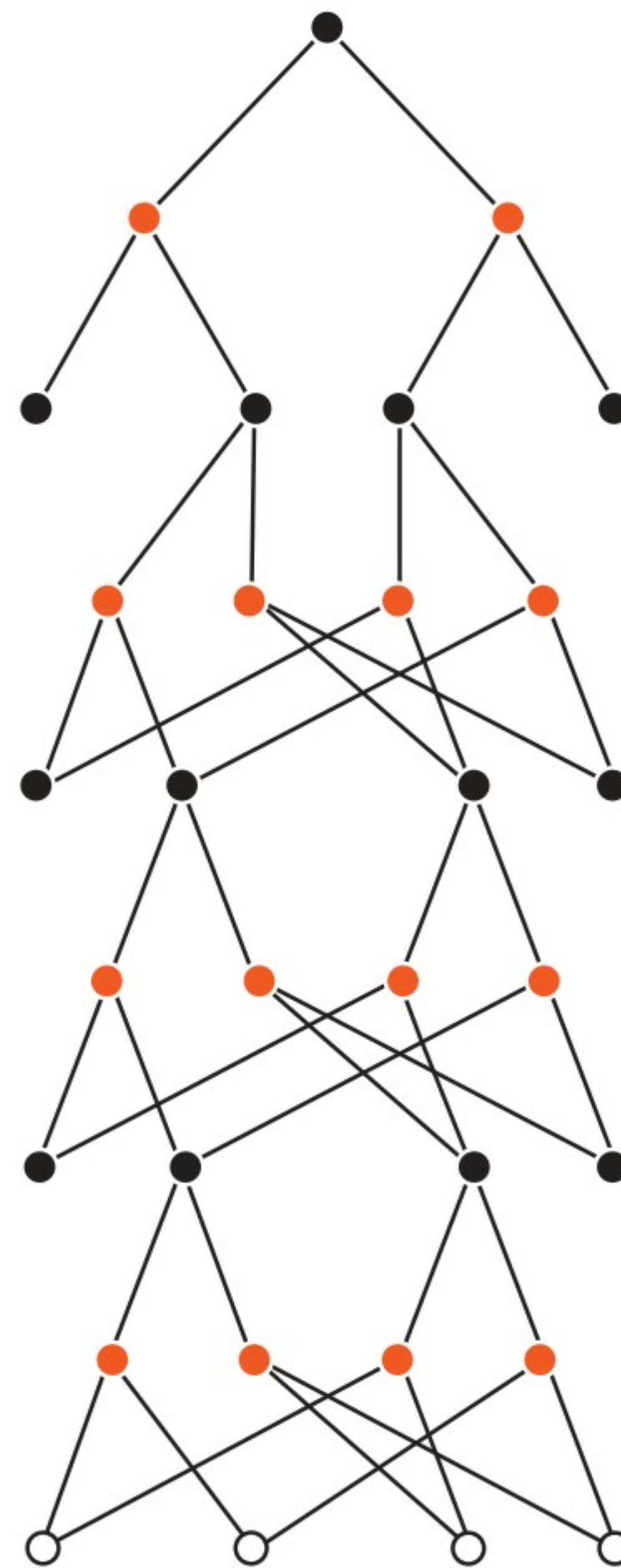
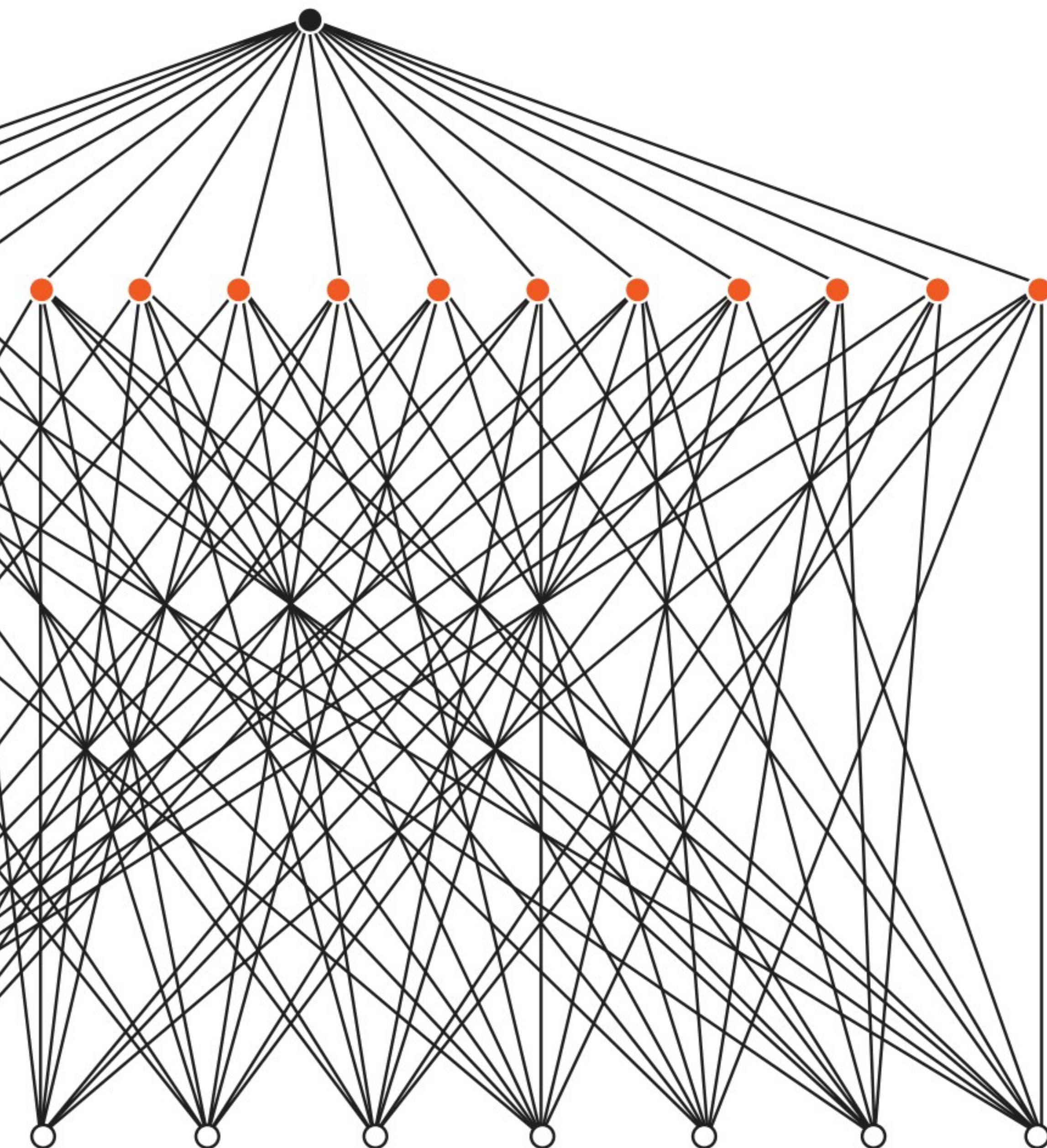
Ils ont repris l'idée de construire des réseaux de points dans des espaces de grandes dimensions à l'aide de corps de nombres – en comptant projeter la configuration obtenue non plus sur le plan, comme pour les distances unitaires, mais sur la droite des nombres réels. Et pour conclure, il leur a fallu une autre astuce.

« *L'idée supplémentaire qu'il fallait introduire, c'était d'utiliser non pas un réseau de points en grande dimension, mais deux : l'un pour gérer la structure additive de l'ensemble, l'autre pour gérer sa structure multiplicative* », détaille l'auteur. Tout le savoir-faire a ensuite consisté à trouver une bonne méthode pour combiner ces deux réseaux en garantissant la propriété souhaitée : obtenir, lors de la projection sur la droite, un grand ensemble de nombres réels générant à la fois peu de sommes et peu de produits. CQFD bis.

« *Cette réfutation de la conjecture somme-produit, c'est majeur*, salue Fabien Pazuki, à l'Institut de mathématiques de Copenhague. *Les questions relatives aux liens entre propriétés additives et propriétés multiplicatives des nombres sont souvent extrêmement difficiles.* »

Et il y a fort à parier que la nouvelle idée artificielle est encore féconde : plusieurs équipes travaillent d'ores et déjà à l'adapter pour résoudre d'autres problèmes ouverts.





LA CONJECTURE SOMME-PRODUIT

Combien obtient-on de sommes et de produits en partant d'un ensemble de nombres réels donné ? Facile, si l'ensemble est petit. Par exemple, en faisant une multiplication entre deux nombres choisis parmi 1, 2 ou 3, il y a six produits possibles (1, 2, 3, 4, 6, 9). Et cinq sommes différentes avec une addition (2, 3, 4, 5, 6). Pour un très grand ensemble de nombres, Paul Erdős présumait en 1974 que soit l'ensemble produit, soit l'ensemble somme est très grand. En fait, non...

C

ette fois, ça y est: une machine a eu une idée. Une idée originale, bonne et fertile. Et c'est un événement majeur.

Alors que les intelligences artificielles déferlent dans tous les domaines, il est difficile d'estimer s'il y a vraiment quelque chose de nouveau dans un morceau de musique généré par Suno, un poème écrit par Claude ou une partie de go jouée par Alpha-Go. Idem en science: pas facile d'évaluer le degré de créativité d'une IA qui découvre un nouveau vaccin ou un nouveau matériau. En mathématiques, cela semble plus clair.

Les spécialistes des mathématiques discrètes s'accordent à dire que l'idée présentée le 20 mai par OpenAI est nouvelle –personne n'avait imaginé utiliser des espaces de dimensions de plus en plus grandes pour construire des ensembles de points à projeter dans le plan. Tout le monde s'accorde aussi à dire qu'elle est bonne –elle a permis de démontrer que la conjecture des distances unitaires formulée il y a quatre-vingts ans est fausse. Et qu'elle est fertile –une semaine plus tard, elle a permis de venir à bout de la conjecture somme-produit, vieille de plus de cinquante ans.

QUESTION DE PUISSANCE

«Il ne fait aucun doute que cette réfutation par l'IA fera date, commente le mathématicien Timothy Gowers dans un texte mis en ligne le même jour que le résultat. Si cet article avait été écrit par un humain

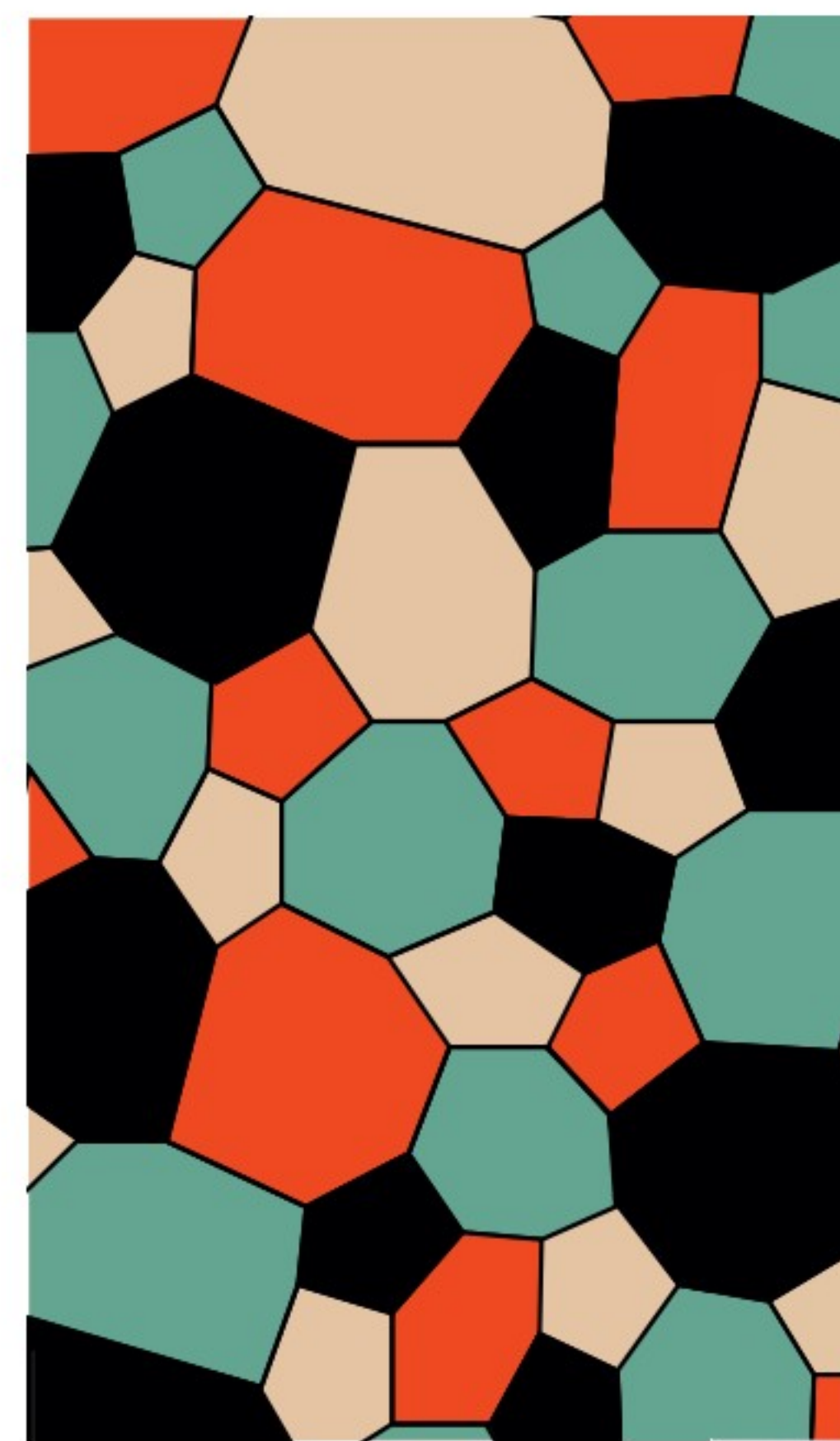
et soumis à *Annals of Mathematics* [la revue la plus prestigieuse du domaine], j'aurais recommandé sa publication sans hésiter.»

Dans l'absolu, ce n'est pas une grande surprise. «On avait déjà les éléments pour penser que l'IA pourrait assez rapidement résoudre des problèmes difficiles de niveau recherche, et pas seulement des problèmes qui se résolvent avec des méthodes bien balisées, analyse Sylvia Serfaty, mathématicienne à Sorbonne Université et à l'université de New York. On savait aussi que, par nature, l'IA serait particulièrement efficace pour la recherche de contre-exemples, et donc la réfutation de conjectures, car elle peut explorer de très nombreuses possibilités.»

À LA FRONTIÈRE

Amaury Hayat, chercheur à l'École des ponts et au Korea Institute for Advanced Study, pointe aussi l'immense déploiement de moyens derrière la prouesse: «Depuis plusieurs années, les entreprises qui développent et promeuvent les outils à la pointe de l'IA ont fait des mathématiques l'emblème de leur puissance.» Cela avait été le cas avec les échecs, le jeu de go ou, plus récemment, le repliement de protéines en biologie: «Le message, c'est: "Mon modèle est meilleur que celui des concurrents, parce qu'il est meilleur en maths."»

Il n'empêche, souligne Diaaeldin Taha, de l'Institut Max-Planck de mathématiques dans les sciences, à Leipzig: «En quelques mois, l'IA a atteint un niveau à la frontière des mathématiques connues. Elle est devenue un outil extrêmement puissant pour accélérer la recherche, d'une manière qu'il aurait été difficile d'envisager par le passé.» Et cela témoigne d'une transformation aussi profonde que rapide du domaine. →

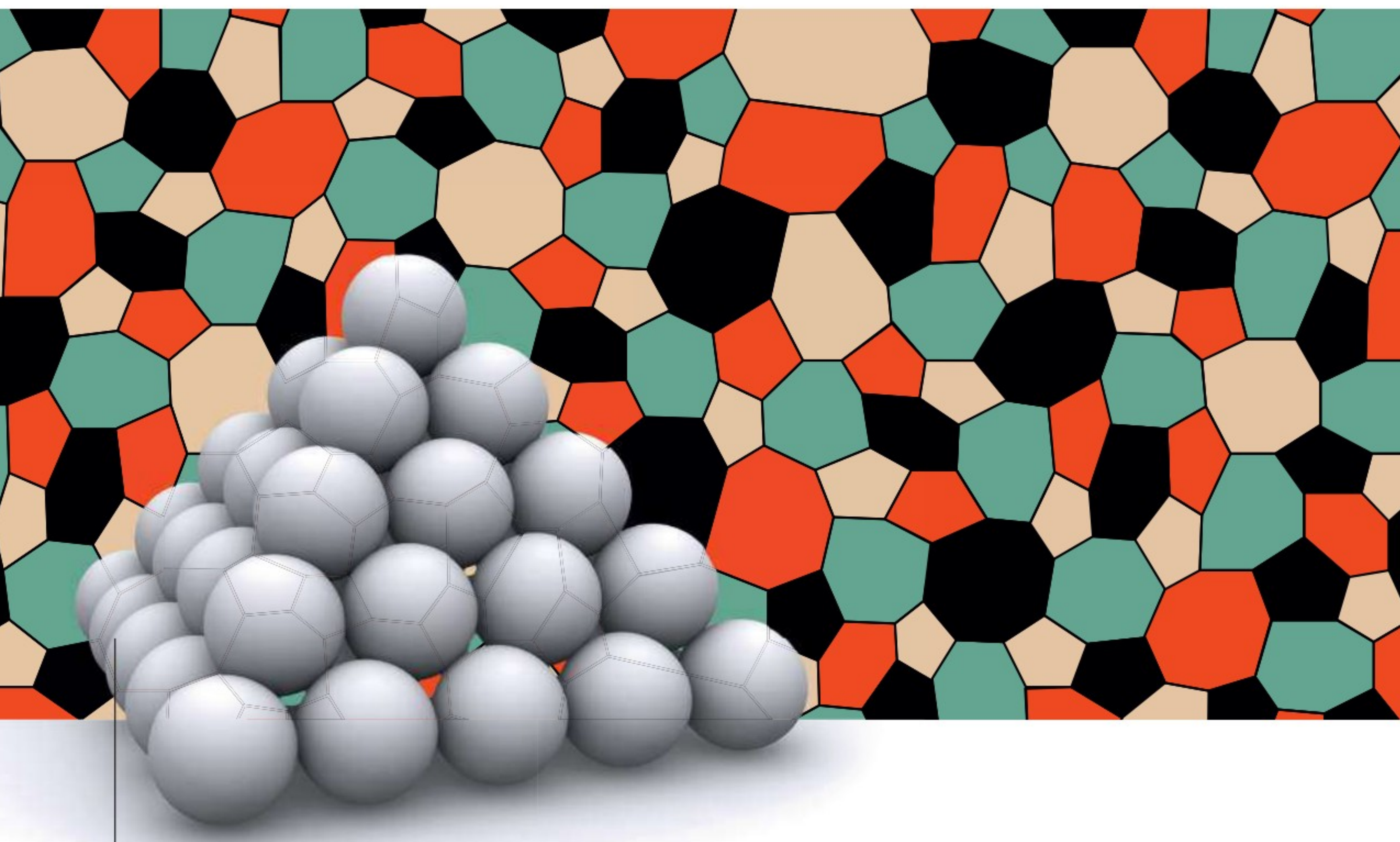


1976

La puissance de calcul vient à bout du théorème des quatre couleurs

Quelle que soit la forme des pays, quatre couleurs suffisent pour colorier n'importe quelle carte –avec, bien sûr, des couleurs différentes pour deux pays adjacents. Deux mathématiciens annoncent avoir démontré cette vieille conjecture en étudiant avec un ordinateur 1 478 cas critiques. Il faudra une trentaine d'années pour que la validité de cette démonstration atypique soit confirmée.





2014

Un ordinateur valide la démonstration de la conjecture de Kepler

Les oranges se rangent mieux en pyramide. Il a fallu seize ans pour que toutes les étapes logiques de la démonstration soient vérifiées par un programme informatique – avec environ 100 000 sous-problèmes à valider. Cet assistant de preuve valide ce que tout bon épicier sait depuis toujours.

2023

Les machines atteignent le niveau baccalauréat

Les nouvelles IA débarquent. Peu de temps après l'examen, bon nombre de médias soumettent les exercices de mathématiques aux modèles en libre accès. Les résultats sont hautement dépendants de la qualité du prompt : soumettre le sujet brut à un LLM donne de moins bonnes copies qu'une mise en situation pour le conditionner à produire de bonnes réponses. Mais avec les meilleurs prompts, certains modèles se révèlent capables d'obtenir d'excellentes notes.

2025

Des IA décrochent une médaille d'or aux Olympiades internationales

L'année précédente, les meilleurs modèles n'avaient décroché qu'une médaille d'argent. Cette fois-ci, les IA égalent voire dépassent les meilleurs élèves du secondaire du monde entier en algèbre, combinatoire, arithmétique et géométrie. La stratégie des industriels de l'IA se précise : les mathématiques sont leur nouveau terrain de jeux, comme l'ont été par le passé les échecs ou le jeu de go.

2026

OpenAI produit la première démonstration artificielle de très haut niveau

Tout le monde se doutait que cela allait arriver, sans savoir quand.

Une transformation susceptible d'ébranler la manière de faire de la recherche, la sociologie de ce milieu, le rapport à la production scientifique, jusqu'à la conception de ce que sont les mathématiques, devenues bon gré mal gré le poste avancé pour observer tous les impacts de l'IA.

Cela fait déjà plusieurs mois que les modèles s'immiscent comme assistants auprès des chercheurs et chercheuses. «*Des collègues s'en servent pour faire de la bibliographie, résumer des articles, préparer des notes de cours...*», énumère Luigi Ambrosio, mathématicien à l'École normale supérieure de Pise. «*Je l'utilise beaucoup pour coder*», ajoute Thomas Bloom, de l'université de Manchester. «*Les IA m'ont fait gagner du temps sur des travaux en m'aidant à formaliser des idées que j'avais eues pour pouvoir mieux les explorer*», témoigne Sylvia Serfaty.

DES ACCÉLÉRATEURS

Mais c'est autre chose de démontrer sa capacité à produire de manière autonome des résultats de haut vol. Nul doute qu'elles seront amenées à prendre une place centrale dans la recherche. «*Ces outils sont des accélérateurs de la production de connaissances: ils concentrent le savoir déjà établi sur un très grand nombre de sujets, et savent en tirer le meilleur dans une temporalité ultra-contractée*», résume le sociologue Pierre-Michel Menger.

Mais cette contraction de la temporalité pose question. «*Dans mon domaine, les mathématiques formelles, on est inondés de contributions générées par IA, qui demandent un temps énorme de vérification et sont, le plus souvent, de piètre qualité*», fulmine Patrick Massot, du Laboratoire de mathématiques d'Orsay. Car même si les

IA ont démontré leur capacité à produire des raisonnements de pointe, elles font encore, à l'heure actuelle, de grossières erreurs. «*Il y a une dissociation entre la puissance de l'outil et son caractère non-linéaire*, commente Pierre-Michel Menger. *Il est tout à la fois capable de faire des erreurs basiques et d'atteindre des sommets.*» À cela s'ajoute un constat

imprévu: même quand leurs productions mathématiques sont de grande qualité, les IA sont particulièrement mauvaises pour faire l'exégèse de leurs propres raisonnements.

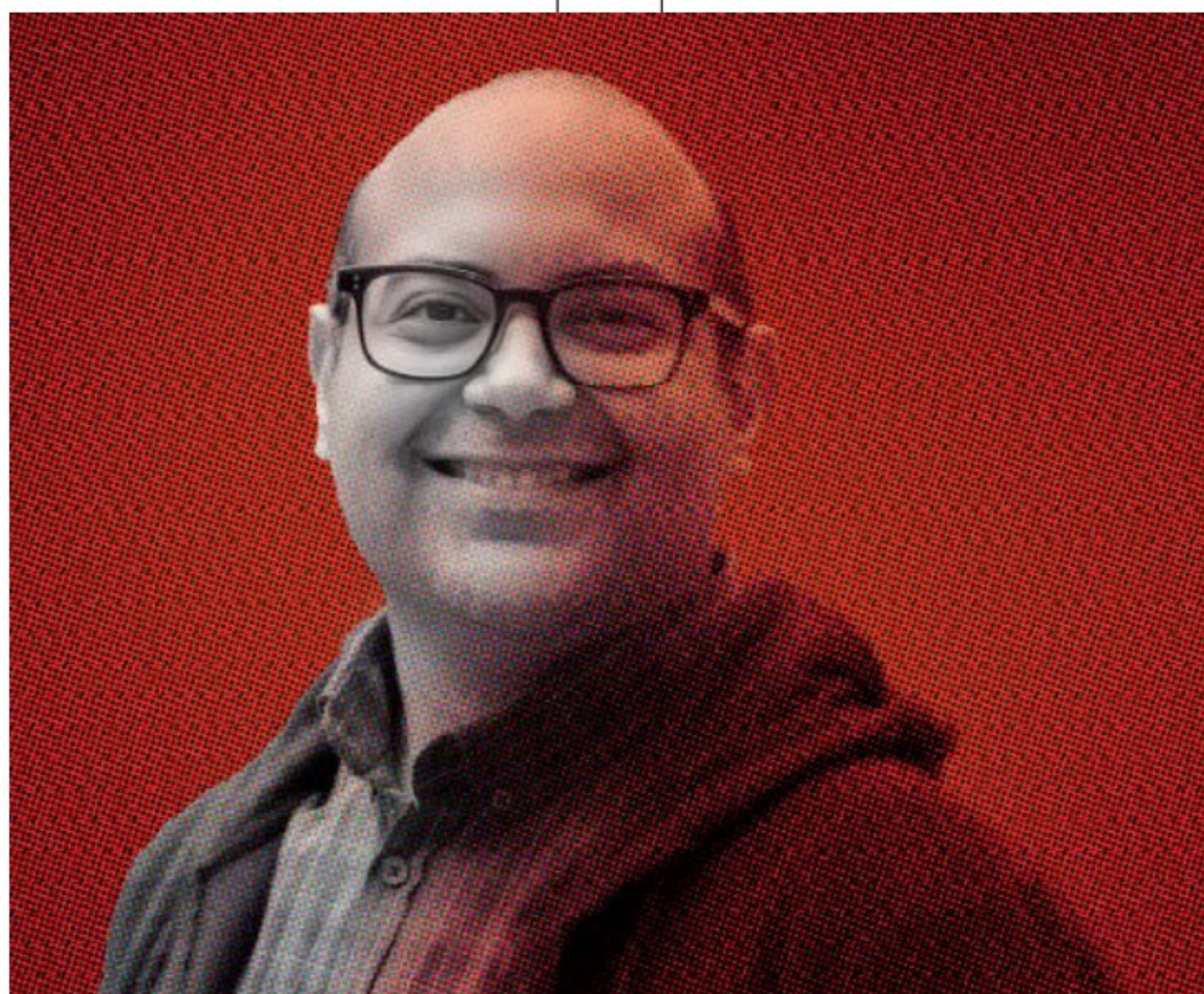
Will Sawin revient sur la réfutation de la conjecture des distances unitaires: «*L'idée de cette démonstration est très belle, mais je ne qualifierais pas de "belle" la démonstration*

« Une IA est un observateur valide de la vérité mathématique »

THOMAS BLOOM, MATHÉMATICIEN,
UNIVERSITÉ DE MANCHESTER, ROYAUME-UNI

Une démonstration est par nature une approche incomplète de la vérité mathématique: c'est une interaction entre un observateur et une vérité. Il est donc toujours intéressant de trouver différentes preuves d'un même résultat, d'en comprendre différentes facettes. En ce sens, je crois que la perspective sur la vérité mathématique offerte par une IA est tout aussi valable que n'importe quelle autre perspective.





« Personnellement, je suis très enthousiaste sur l'apport de l'IA »

BORJAN GESHKOVSKI, MATHÉMATICIEN,
SORBONNE UNIVERSITÉ

Pour les mathématiques et pour la science au sens large, c'est un outil extraordinaire de recherche bibliographique et de synthèse de connaissances hors de la portée d'un non-expert. Mais pour le moment, on ne voit que des développements d'arguments dans les domaines où le niveau d'abstraction et de définitions est bien moins élevé qu'en analyse avancée, ou encore qu'en géométrie ou en algèbre.

écrite par l'IA. Elle expose l'idée d'une manière très compliquée, qui la rend difficile à comprendre. L'IA est forte pour avoir des idées, mais pas pour les expliquer. Elle ne sait pas identifier les points clés. Ce n'est pas nécessairement ce que j'aurais anticipé. »

☞ L'autre sujet majeur, bien sûr, c'est l'impact social de ces nouveaux

outils. À court terme, pour le recrutement de jeunes chercheurs et chercheuses, et à plus long terme, pour la subsistance de l'ensemble du domaine de recherche. « Produire des papiers qui consistent à combiner des connaissances déjà établies pour résoudre des problèmes ouverts mais peu difficiles, cela fait partie de la formation des futurs



« Les IA sont bien meilleures que les humains pour repérer des motifs »

DIAAELDIN TAHA, MATHÉMATICIEN,
INSTITUT MAX-PLANCK, ALLEMAGNE

Dans les années à venir, beaucoup de problèmes dont la résolution repose sur l'identification de structures dans les données mathématiques seront résolus, parce que les IA peuvent identifier, dans la littérature, des structures intéressantes pour un problème donné, même si elles apparaissent formulées autrement et dans des champs différents. Dès qu'il s'agit de trouver un exemple concret d'un objet vérifiant certaines propriétés, l'IA peut être extrêmement utile.



« J'ai l'impression que nous allons changer de métier »

SYLVIA SERFATY,
MATHÉMATICIENNE,
SORBONNE UNIVERSITÉ ET UNIVERSITÉ DE NEW YORK

Ce vers quoi on s'oriente n'est pas forcément ce pour quoi j'avais signé au départ. J'aime le temps long de la recherche, laisser mûrir en soi un problème, prendre le temps d'y réfléchir, de méditer. J'aime cette exploration intérieure, solitaire. Utiliser l'IA, c'est un peu comme remplacer une randonnée par une promenade en Ferrari. Ça va être un grand changement. La curiosité, la soif de connaissances resteront toujours, mais je me demande parfois si faire des mathématiques « à l'ancienne » ne va pas à long terme devenir une activité du dimanche.



chercheurs et chercheuses», rappelle Luigi Ambrosio. Or, en recherche, le nombre de publications est central dans l'évaluation – en particulier pour le recrutement à des postes universitaires. Les IA sont devenues surpuissantes pour traiter ces problèmes de combinaison de connaissances préexistantes: quelle place laisseront-elles aux étudiants, doctorants et post-doctorants dans la production de ces résultats accessibles? « Derrière l'idée qu'on accélère la production de connaissances se cache l'idée que l'on n'a plus besoin d'autant de monde pour produire le savoir, analyse Pierre-Michel Menger. Il restera sans doute de la place pour les meilleurs, mais qu'advient-il des autres? C'est une question majeure pour la capacité à progresser dans une carrière de recherche. »

Le métier va changer, mais pas forcément en pire, juge Jean-Michel Kantor, mathématicien et historien de l'IA à l'Institut de mathématiques de Jussieu, à Paris: « Il y a quelques années, alors que les réseaux de

neurones avaient fait des progrès énormes dans la lecture d'images médicales, Geoffrey Hinton, l'un des pères de l'IA, avait prédit que les machines remplaceraient les radiologues. Il n'en a rien été: c'est la collaboration entre les humains et ces outils qui a dominé. » Luigi Ambrosio approuve: « Je pense que ces interactions humains-IA sont bénéfiques, et que la machine ne pourra pas remplacer l'humain. »

ET L'INTUITION ?

Une confiance qui repose notamment sur le scepticisme d'une partie des spécialistes quant à la capacité de l'IA à définir son propre programme de recherche. « En mathématiques, les questions ne tombent pas du ciel, elles ont à voir avec l'intuition, reprend Jean-Michel Kantor. La question est donc: peut-on concevoir une intuition artificielle? »

Bon nombre de spécialistes prédisent un glissement dans les compétences qui seront requises et valorisées pour faire de la recherche

assistée par IA: « Les chercheuses et chercheurs seront peut-être progressivement remplacés par des couples ingénieur-machine », suggère Pierre-Michel Menger. « Peut-être que cela sera l'occasion de valoriser davantage le travail de communication et d'enseignement des mathématiques à d'autres humains, qui est aujourd'hui sous-valorisé par rapport au fait de démontrer des résultats », s'interroge Thomas Bloom.

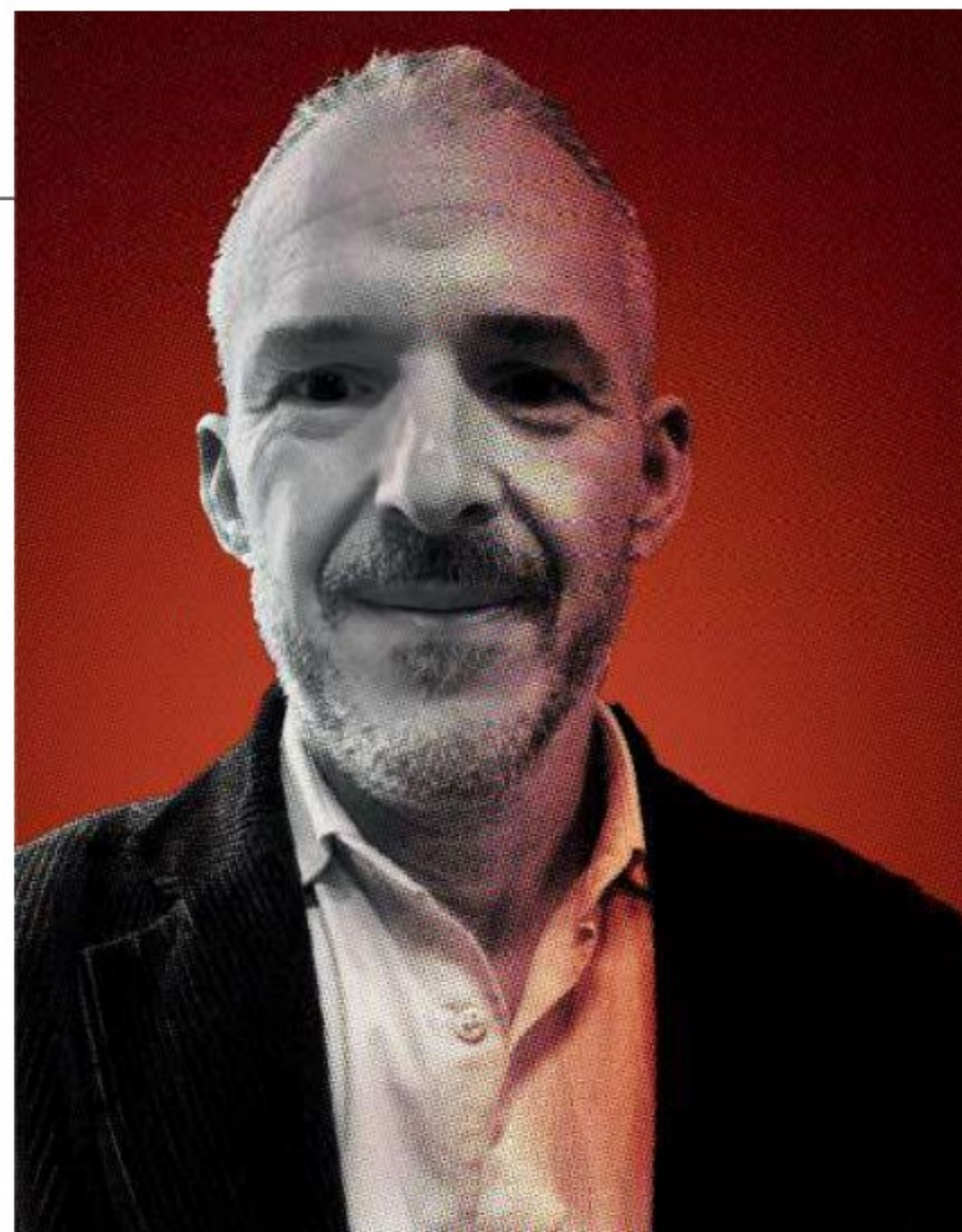
La traçabilité du savoir et l'attribution de crédit scientifique restent un point de crispation majeur. « C'est terrifiant de se dire que les IA risquent de priver de travail des gens dont on a volé la production pour pouvoir les entraîner, s'offusque Patrick Massot. Dans l'esprit de la science ouverte, on a mis énormément de choses à disposition sur Internet, en n'imaginant pas que ça allait être utilisé pour entraîner des IA sans aucune forme d'attribution de crédit. » Un point qui a été mis en avant dans la déclaration de Leiden, →



« L'IA saura-t-elle aussi formuler des questions mathématiques intéressantes ? »

JEAN-MICHEL KANTOR,
HISTORIEN DES MATHÉMATIQUES, INSTITUT DE MATHÉMATIQUES
DE JUSSIEU PARIS RIVE GAUCHE

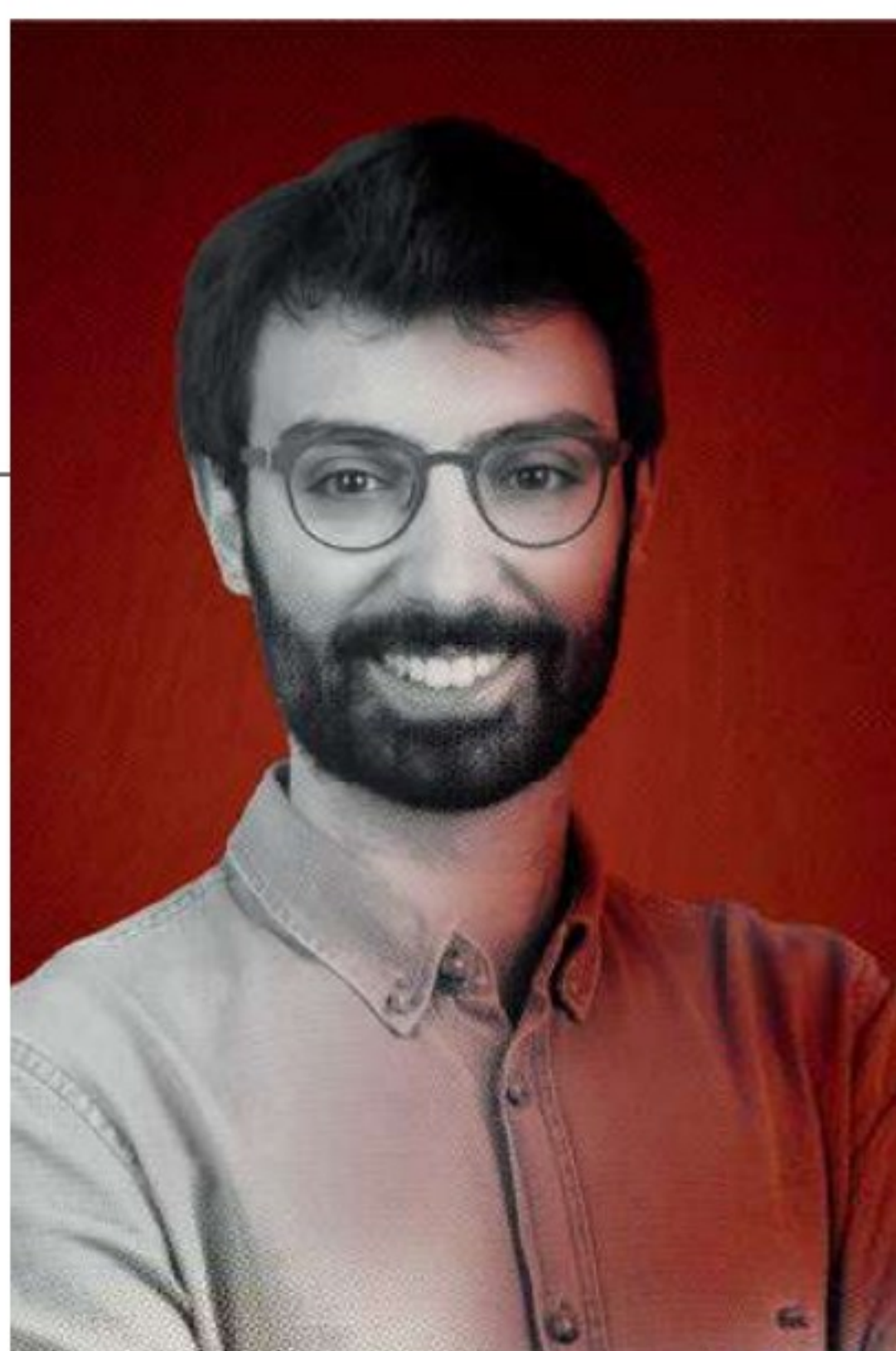
Si l'on adopte le point de vue de Poincaré au début du XX^e siècle, il y a deux domaines dans le travail mathématique : l'intuition, qui permet de poser les questions, et la logique, qui permet de faire des démonstrations. Tout un pan des mathématiques ne consiste donc pas à résoudre des problèmes, mais à formuler des questions intéressantes. Est-ce que, un jour, les machines en seront capables ? Une machine pourrait-elle poser la conjecture de Poincaré ? Je n'en sais rien.



« Il faut rester modeste sur l'avantage souverain de l'humain en matière de créativité »

ALEXANDRE GEFEN,
PHILOSOPHE,
UNIVERSITÉ SORBONNE NOUVELLE

La frontière entre la créativité de combinaison, qui combine une question de recherche avec la littérature existante, et la créativité de rupture, qui casse les cadres et fait surgir de nouvelles questions, est peut-être moins évidente qu'on pourrait le penser. Je suis vraiment surpris par la capacité des IA à abstraire les choses, à monter en généralité, à organiser toute une série de savoirs. La frontière tend à disparaître.



« Le miracle, c'est que l'IA se pose elle-même des questions »

AMAURY HAYAT,
MATHÉMATICIEN,
ÉCOLE NATIONALE
DES PONTS ET CHAUSSEES

Naturellement, l'entraînement des modèles fait apparaître de longues chaînes de raisonnement : une fois un modèle entraîné, il ne répond pas directement aux requêtes qu'on lui soumet, mais il commence par se poser des questions – parfois lunaires –, s'interroger, se relire... Et plus les modèles génèrent de texte avant de formuler une réponse, meilleure est cette réponse.

publiée le 2 juin, et qui compte déjà près de 3000 signataires, dans laquelle la communauté mathématique met en garde contre les risques liés au déploiement de l'IA dans leur milieu. La «*menace sur le système traditionnel d'attribution* [de crédit pour les résultats scientifiques]» est le deuxième risque identifié – juste après la production rapide et massive de résultats incorrects. Mais la déclaration de Leiden ne dit pas un mot sur un autre enjeu: l'impact écologique de ces outils. «*L'IA, c'est les impacts environnementaux du numérique sous cocaïne: elle rend tout pire!*», résume David Ekchajzer, contributeur à plusieurs études de l'Ademe.

Par-delà ces considérations techniques, sociales, sociologiques, éthiques et écologiques, l'irruption de l'IA dans les mathématiques de haut niveau pose aussi des questions d'ordre esthétique. «*La créativité repose sur deux piliers: la production de nouveauté et la valeur de cette production*», analyse Pierre-Michel

Menger. *La nouveauté peut être incrémentale ou radicale, mais il y a des procédures pour l'étalonner. La valeur est une notion plus compliquée. Qui sont les juges? Combien faut-il en persuader pour décréter la valeur d'une nouveauté?*»

BRIN DE FOLIE

Un critère souvent retenu est la capacité d'une production à servir de point de départ à de nouvelles recherches. À ce titre, la réfutation de la conjecture des distances unitaires semble avoir clos le débat: oui, les IA sont capables de créativité. Mais pour l'instant, la sensibilité à l'abstraction conceptuelle des mathématiques semble encore être l'apanage des humains.

«*Pour les machines, les mathématiques ne sont que des corrélations et de la causalité*», souligne Luigi Ambrosio. Or il y a aussi une dimension conceptuelle qui nécessite de se représenter les objets. Je pense que cela ne pourra pas être

pris en charge par les machines, car il leur manque un ancrage dans notre monde matériel.»

Un avis partagé par le philosophe Alexandre Gefen, directeur de recherche CNRS à l'université Sorbonne Nouvelle: «*L'IA fonctionne en faisant des moyennes, elle ne peut pas spontanément dériver. Sans connexion avec le sensible et l'expérience de l'urgence humaine, tant qu'elle ne pourra pas être un peu atypique, un peu folle, je pense qu'il lui restera des limites.*» Vœu pieux ou lucidité? Chacun se garde bien de formuler des certitudes. «*Le problème avec l'IA, c'est que si l'on en reparle dans trois mois, ce qu'on se sera dit aujourd'hui risque d'être totalement dépassé*», sourit Pierre-Michel Menger. «*Au passage, j'expérimente depuis quelques jours le nouveau modèle Fable de Claude, et il est assez incroyable*», nous glisse au dernier moment Sylvia Serfaty.

Bienvenue dans le nouveau monde des idées artificielles.

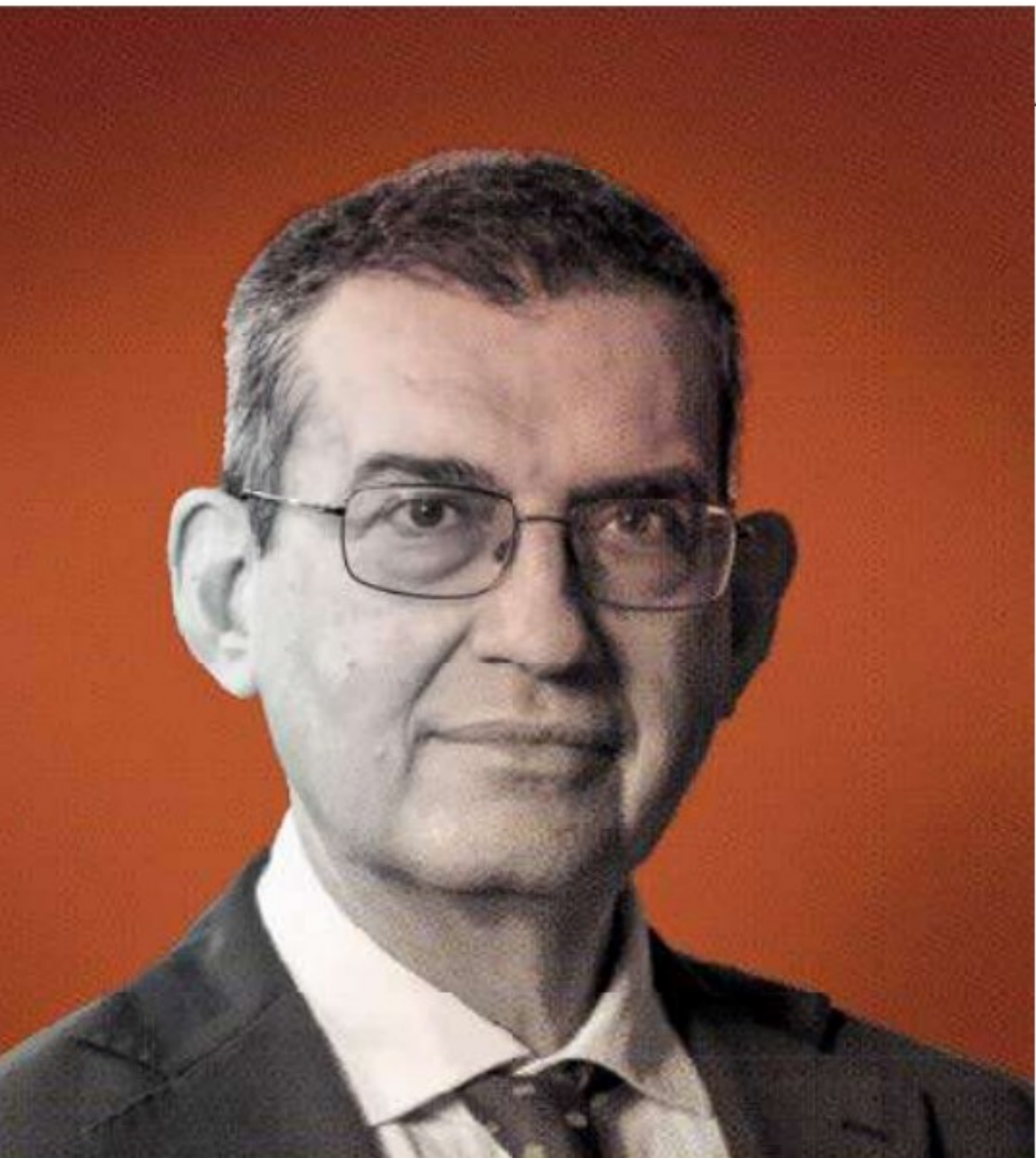


« Il y a un véritable risque d'ignorance de la paternité du savoir, voire de pillage »

PIERRE-MICHEL MENDER,
SOCIOLOGUE,
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

Dans le monde scientifique, notre rémunération académique, c'est la citation, l'attribution de crédit à celles et ceux qui fabriquent les connaissances. Or, avec l'IA, la question de l'attribution du crédit se pose de manière centrale: une IA n'indique pas toute la bibliographie sur laquelle elle s'appuie, elle n'expose pas les mécanismes qui lui ont permis de résoudre les problèmes auxquels elle s'attaque.





« Je crois qu'il y aura toujours une impulsion humaine derrière les productions des IA »

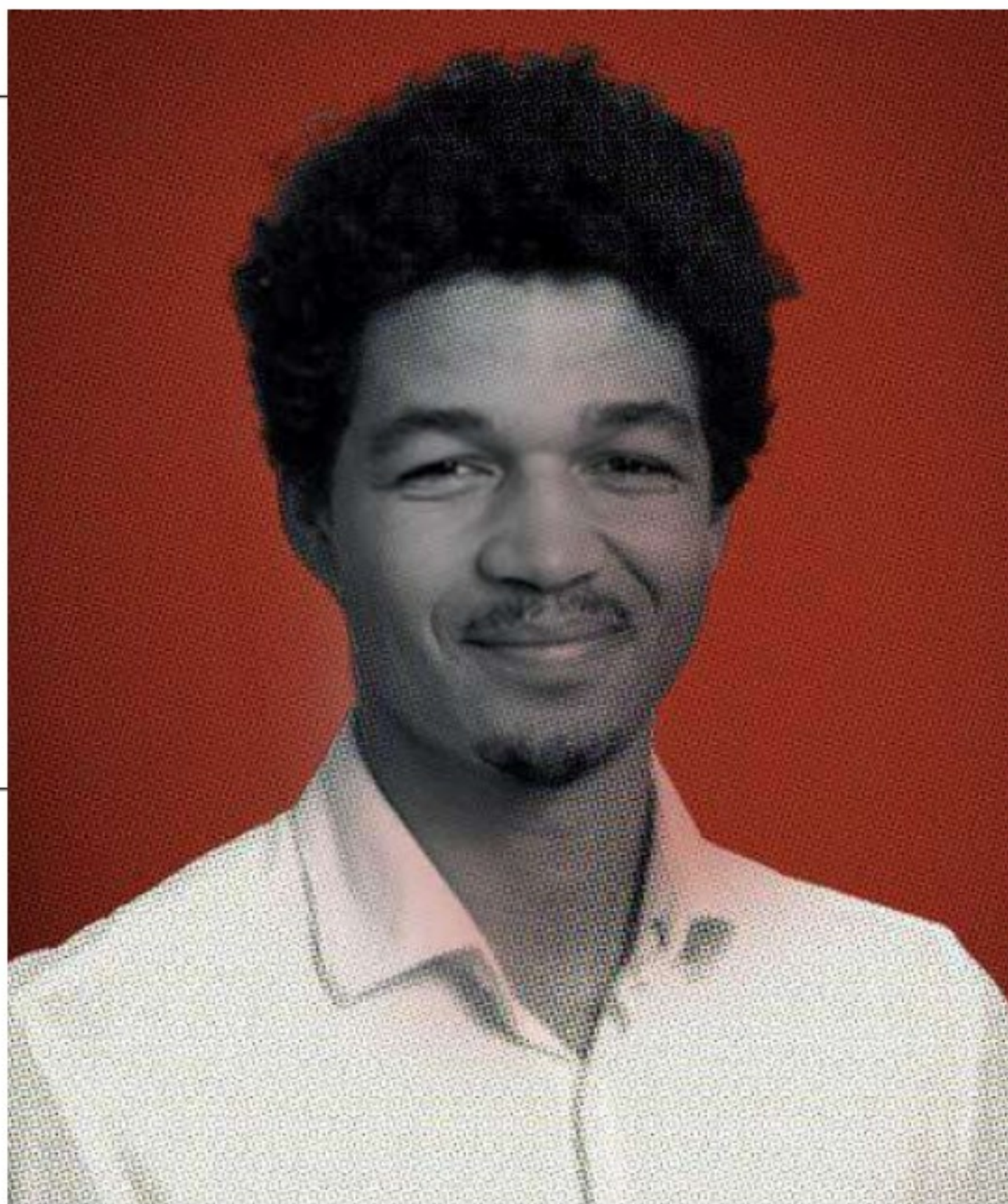
LUIGI AMBROSIO,
MATHÉMATICIEN,
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE PISE, ITALIE

On peut imaginer qu'à terme, les IA seront capables de produire des démonstrations qui seront elles-mêmes validées par d'autres IA ou des vérificateurs automatiques de preuve, mais que les humains seront incapables de comprendre. Quel sens donner à de telles productions ? À titre personnel, je ne suis pas si pessimiste. Un résultat mathématique repose sur une certaine motivation, un ancrage dans des théories scientifiques pré-existantes. Quelque part, cela rattache l'impulsion de la recherche à la réalité matérielle du monde, dans laquelle nous, humains, vivons... et pas les machines.

« Du point de vue climatique, je ne suis pas sûr que ça vaille le coup »

MAXIME EFOUI-HESS,
INGÉNIEUR
AU SHIFT PROJECT

Oui, faire des démonstrations mathématiques, c'est formidable, mais il faut se demander quelles priorités on veut avoir. Quand on cherche à limiter le réchauffement, l'enjeu, c'est de limiter le nombre de morts humains. Plutôt que de chercher à déployer l'IA partout et le plus vite possible, peut-être qu'il serait temps de laisser nos plans, nos projets autour de l'IA



pour le siècle prochain, où l'on aura peut-être les moyens de les mettre en œuvre sans devoir faire des arbitrages sur des choses extrêmement urgentes.

Pour aller
encore plus loin

Un article

Approfondi. Neuf spécialistes de renom font l'exégèse du résultat d'OpenAI. C'est ici : <https://arxiv.org/abs/2605.20695>

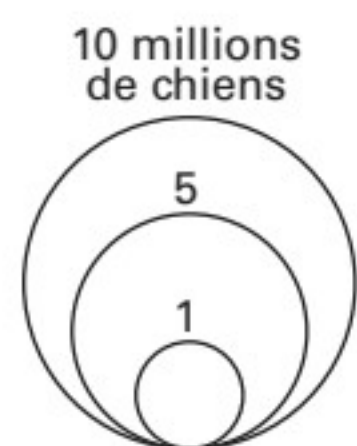
Une déclaration

Choc. Publié le 2 juin et signé par 3000 mathématiciens, ce texte appelle à réorganiser toute la recherche. <https://leidendeclaration.ai/>

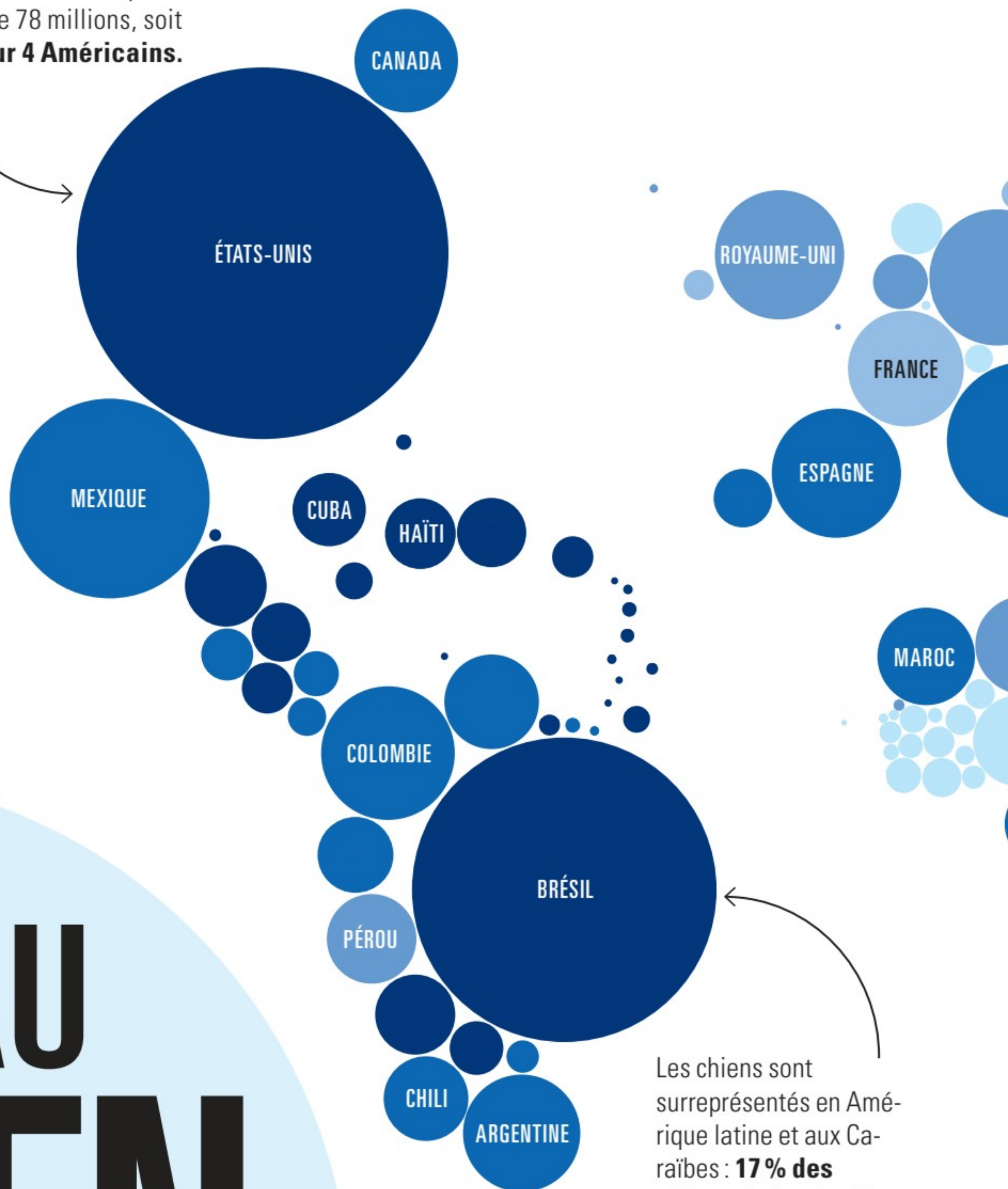
Une vidéo

Philosophique. Sur sa chaîne YouTube, Monsieur Phi analyse de façon précise et rafraîchissante la signification de la résolution du problème des distances unitaires par une IA.

C'est aux États-Unis qu'il y a le plus de chiens de compagnie : plus de 78 millions, soit **1 chien pour 4 Américains**.



- plus d'1 chien pour 4 humains
- 1 pour 4 à 1 pour 6
- 1 pour 6 à 1 pour 8
- 1 pour 8 à 1 pour 10
- moins d'1 pour 10



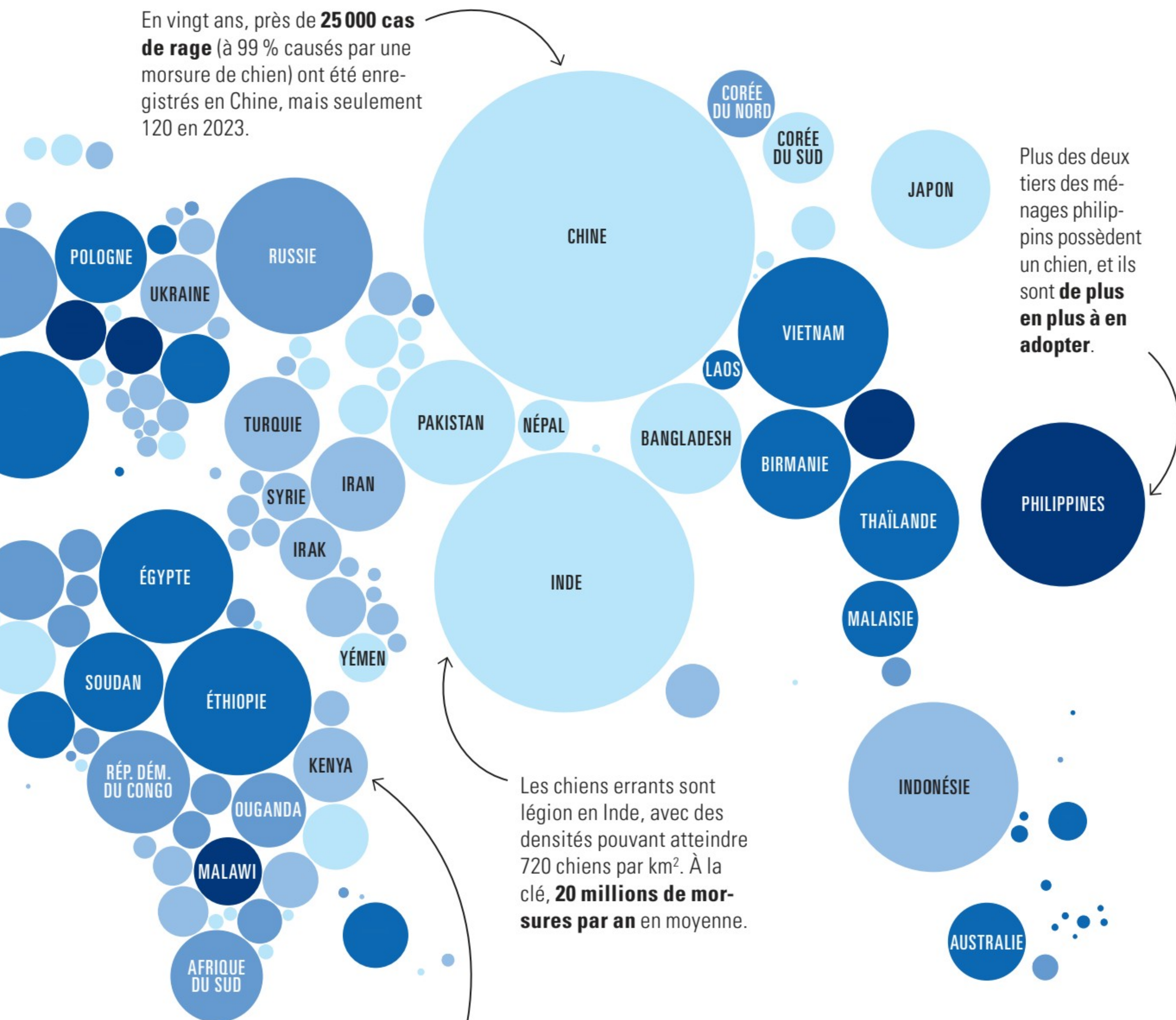
Les chiens sont surreprésentés en Amérique latine et aux Caraïbes : **17 % des chiens de la planète** y vivent, contre seulement 6 % des humains.

FACE AU CHIEN

PAR LÉA DESRAYAUD,
AVEC FIORENZA GRACCI ET ALEXANDRA PIHEN

En vingt ans, près de **25 000 cas de rage** (à 99 % causés par une morsure de chien) ont été enregistrés en Chine, mais seulement 120 en 2023.

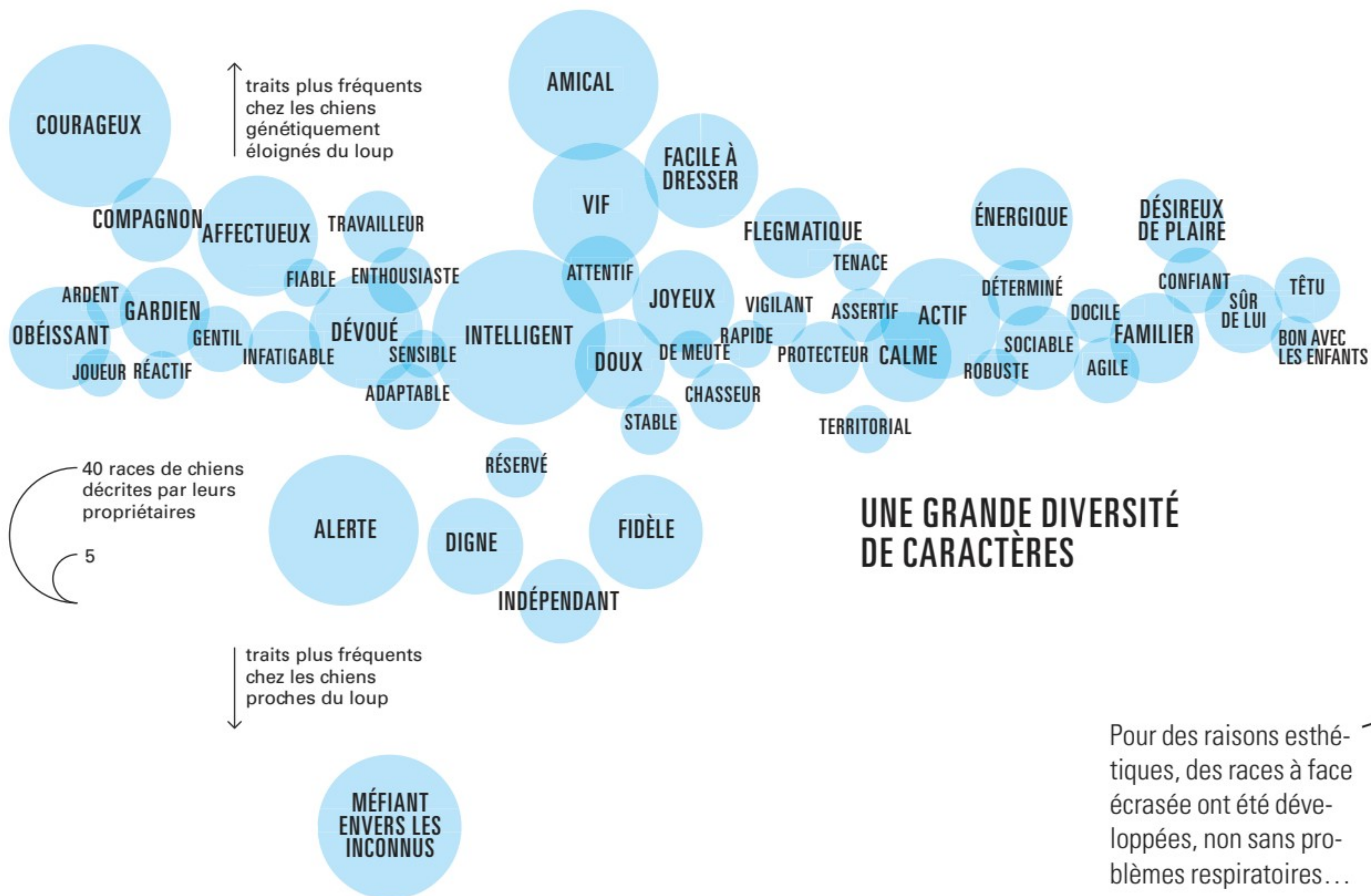
Plus des deux tiers des ménages philippins possèdent un chien, et ils sont **de plus en plus à en adopter**.



Les chiens errants sont légion en Inde, avec des densités pouvant atteindre 720 chiens par km². À la clé, **20 millions de morsures par an** en moyenne.

Au Kenya, plus de 9 propriétaires de chiens sur 10 en ont un pour **assurer leur sécurité**.

PRÈS D'UN MILLIARD DE CHIENS DANS LE MONDE



Pour des raisons esthétiques, des races à face écrasée ont été développées, non sans problèmes respiratoires...

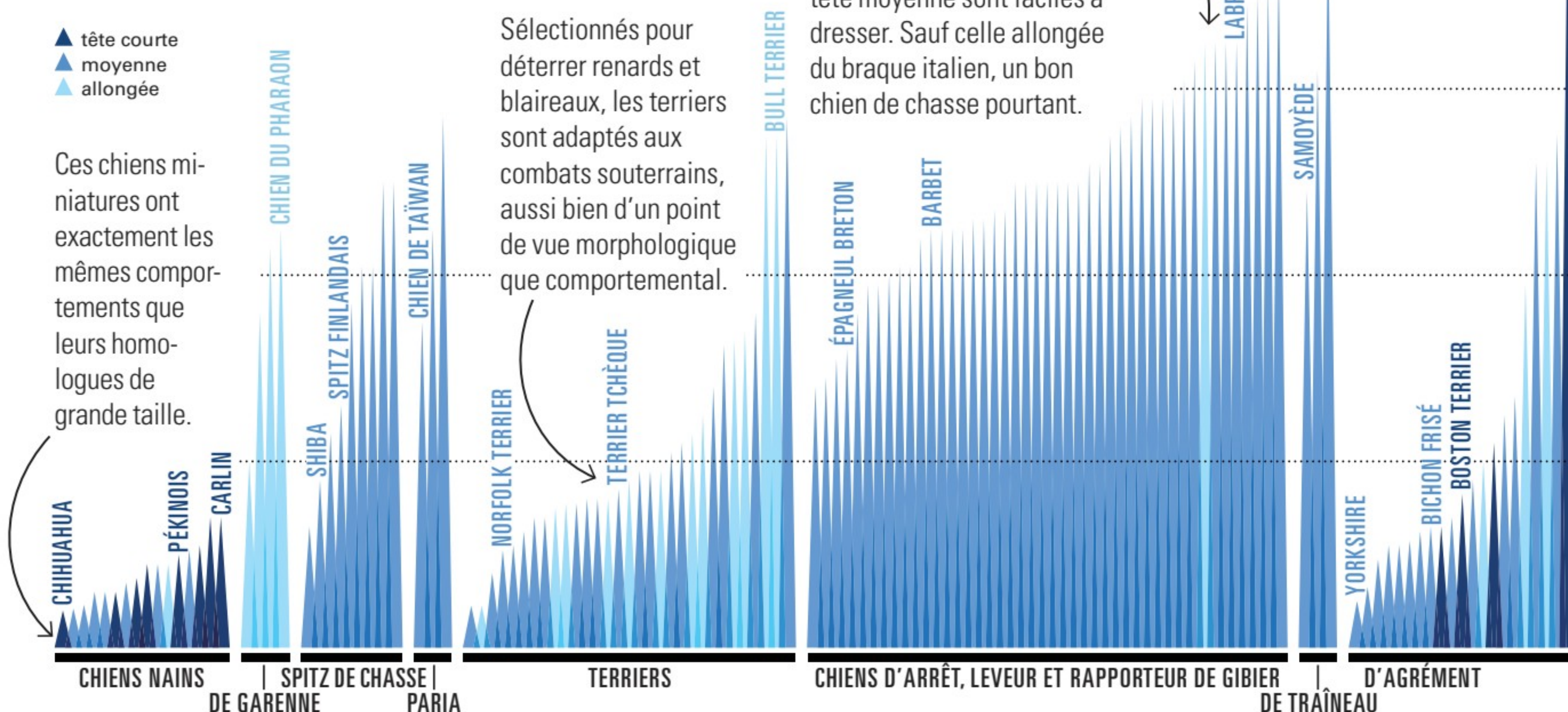
UN LARGE ÉVENTAIL DE MORPHOLOGIES

- ▲ tête courte
- ▲ moyenne
- ▲ allongée

Ces chiens miniatures ont exactement les mêmes comportements que leurs homologues de grande taille.

Sélectionnés pour déterrer renards et blaireaux, les terriers sont adaptés aux combats souterrains, aussi bien d'un point de vue morphologique que comportemental.

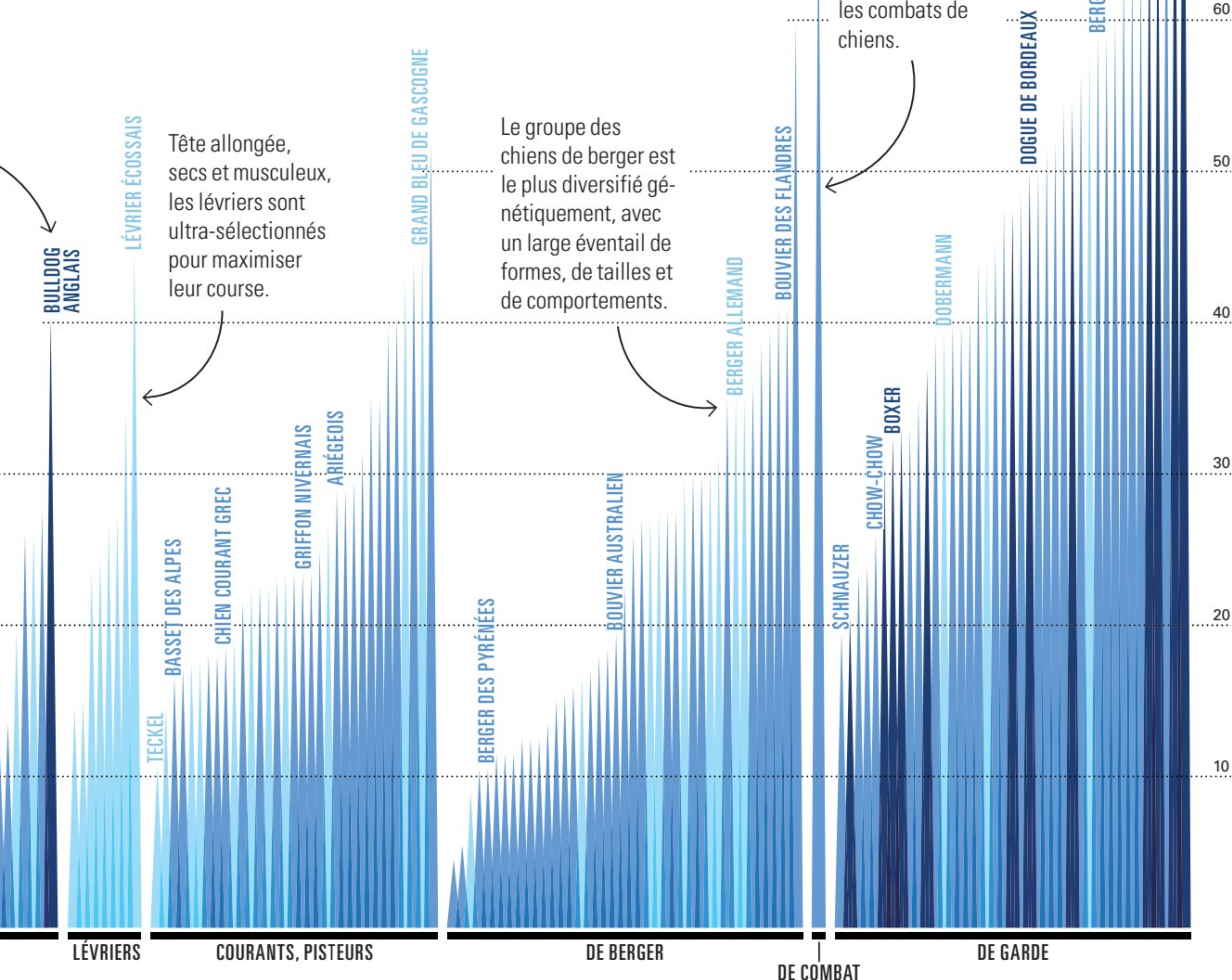
Forme de la tête et caractère sont corrélés : les races qui ont une forme de tête moyenne sont faciles à dresser. Sauf celle allongée du braque italien, un bon chien de chasse pourtant.



UNE PLASTICITÉ EXCEPTIONNELLE

C'est l'espèce mammifère qui possède la plus grande capacité à se métamorphoser. Les chercheurs pointent le rôle de leurs transposons, ces séquences d'ADN capables de se déplacer, de se taire ou de se réactiver.

Le mastiff produit en grande quantité l'hormone de croissance IGF-1 : c'est le facteur génétique qui influe le plus sur la taille des chiens de race.



IL Y A 8 500 ANS

Le plus ancien chien américain, révélé par sa morphologie et des analyses génomiques en novembre 2025, provient du site de Koster, dans l'Illinois. Aucune trace en revanche de chiens indigènes, que les Européens venus coloniser le continent ont peut-être exterminés...

IL Y A 14 000 ANS

Sur le site de Bonn-Oberkassel, l'analyse de l'émail dentaire du chiot inhumé aux côtés d'un homme, d'une femme et d'offrandes funéraires révèle qu'il souffrait d'une maladie grave : sa survie est jugée improbable sans une assistance humaine intensive.

IL Y A 14 300 ANS

En mars 2026, une étude génétique comparative dévoile la présence de chiens dans la grotte de Gough, au Royaume-Uni ; et l'analyse de leurs ossements révèle un régime alimentaire similaire entre les chiens et les humains.

IL Y A 14 200 ANS

Chiens et loups divergent génétiquement : une mâchoire issue de la grotte de Kesslerloch, en Suisse, affiche une taille très inférieure à celle des loups. Les données génétiques prouvent qu'il est l'ascendant des chiens actuels du monde entier.

IL Y A 14 400 ANS

Les empreintes synchrones d'humains et d'un grand canidé révèlent que l'animal – sans doute une transition entre loup et chien – a accompagné le groupe de chasseurs-cueilleurs tout au long de leur parcours dans la Grotta della Basura, à Toirano, en Italie.

À LA RECHERCHE DU PREMIER CHIEN

Quand le loup est-il devenu chien ? La question fait l'objet d'une enquête scientifique de longue haleine : les paléontologues remontent maintenant jusqu'à près de 16 000 ans.

IL Y A 7 000 ANS

Le chien du site néolithique russe de Shamanka II est le premier à être inhumé dans une fosse commune. Il ne présente aucune trace de sacrifice et une cuillère en corne est déposée à côté de lui... preuve d'un traitement privilégié.

IL Y A 15 800 ANS

L'analyse, en mars 2026, de l'ADN d'ossements enterrés sur le site de chasseurs-cueilleurs Pinarbasi, en Turquie, constitue la plus ancienne preuve de véritables chiots en Europe. Il présente une similitude frappante avec l'ADN d'autres chiens allemands, anglais et suisses de la même période, en dépit des distances : les chiens étaient déjà répandus en Europe au paléolithique.

IL Y A 11 000 ANS

En novembre 2025, l'analyse de 643 crânes de canidés couvrant les 50 000 dernières années démontre l'émergence d'une morphologie spécifique – notamment la réduction de la taille du crâne ; les plus vieux chiens identifiés génétiquement sont issus du site mésolithique russe de Veretye.

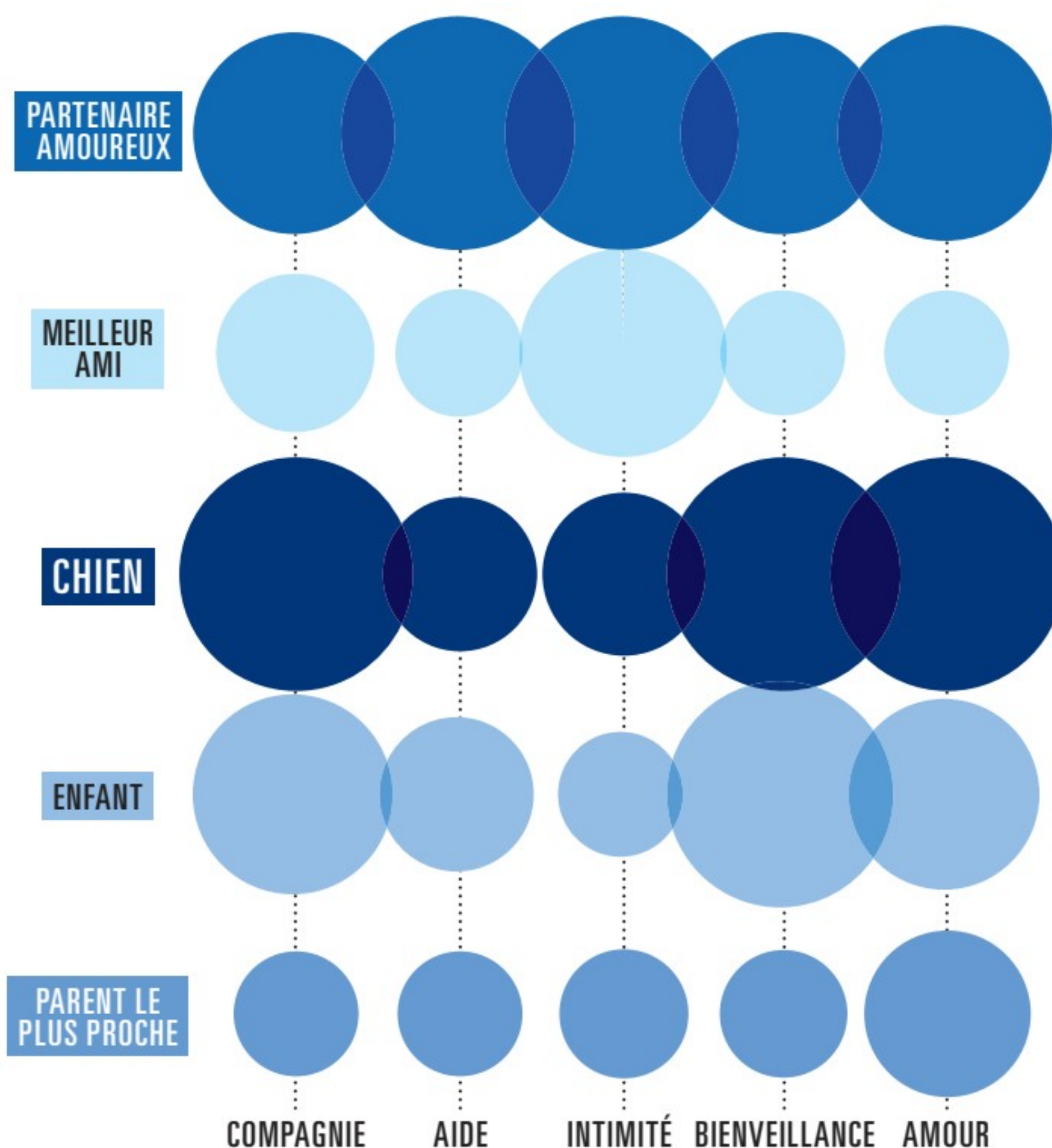
- fossiles de canidés considérés comme premiers chiens...
- ... comme plus proches du chien que du loup
- ... comme plus proches du loup que du chien

UNE RELATION FORTE AVEC L'HUMAIN

ILS DÉTRÔNENT NOS PROCHES

Scientific Reports, 2025

« La relation chien-humain combine les aspects positifs du lien parent-enfant avec les interactions négatives minimales des amitiés profondes », selon des chercheurs hongrois qui ont interrogé 717 propriétaires de chiens. Seul le partenaire amoureux passe devant.



ILS NOUS COMPRENENT TRÈS BIEN, MÊME LES CHIOTS

Current Biology, 2021

Les bébés chiens se montrent très tôt intéressés par les visages humains, de la même manière que les bébés humains expriment très tôt des compétences pour communiquer de façon coopérative. Dès 8 semaines, ils suivent les consignes gestuelles et ce, sans besoin de les apprendre. Sans doute l'effet de l'héritage génétique de la domestication.

ILS SAVENT QUAND ON MENT

Proc. Biol. Sci., 2021

En voici la démonstration : s'ils nous voient cacher de la nourriture, puis la déplacer, mais qu'on leur indique toujours la première cachette, les deux tiers des chiens vont ignorer notre conseil erroné. Ils reconnaissent donc un comportement trompeur, ce dont sont incapables les enfants de moins de 5 ans et les primates, également testés dans cette expérience.

ILS PLEURENT DE JOIE QUAND ILS NOUS RETROUVENT

Current Biology, 2022

La mesure avant-après du volume des larmes montre que les yeux des chiens se gonflent quand ils se trouvent réunis avec leur maître, mais pas avec une autre personne connue. D'après l'expérience des chercheurs, il s'agit de l'effet de l'ocytocine, l'hormone de l'attachement.

ILS PRÉFÈRENT LE POULET AUX CÂLINS

Ethology, 2026

En Inde, les chiens errants dépendent énormément de l'aide humaine. Les expérimentateurs ont proposé à 150 d'entre eux 5 types de récompense : poulet, biscuit, caresse, regard, ou simple présence humaine. Eh oui, c'est le poulet qu'ils préfèrent, un aliment de grande valeur. Ils s'approchent plus rapidement et restent plus longtemps à proximité.

ILS SONT TRÈS JALOUX

Psychol. Sci., 2021

En voyant leur maître se rendre hors de leur vue, derrière une paroi, pour câliner et féliciter un autre chien, 18 chiens ont fait preuve d'agitation — elle est mesurée par la force de traction sur la laisse à laquelle ils sont attachés. Ce qui ne se produisait pas quand le rival était remplacé par une peluche.

ILS RECONNAISSENT LES MOTS ET LES LANGUES

NeuroImage, 2022

Et c'est l'IRM fonctionnelle qui le prouve. Des biologistes ont fait écouter à 18 chiens sous IRM des passages du *Petit Prince* en espagnol et en hongrois... et des passages remixés qui n'avaient plus la structure du langage. Que la langue leur soit familière ou non, les animaux distinguaient le charabia du vrai langage, leurs aires acoustiques s'activaient en conséquence.

OUI, NOUS SOMMES DE BONS COMPAGNONS

Animal Behaviour, 2024

Placés face à deux exercices stressants — avec un nouvel objet comme un réveil, ou isolés dans une pièce inconnue —, des chiots de cinq semaines retirent autant de soutien de la présence d'un autre chien que de celle d'un être humain. Tandis que seuls les louveteaux fortement sociabilisés avec l'humain bénéficient de sa présence.

Retrouvez nos sources sur epsilon.com/sources

ON LEUR PARLE COMME AUX ENFANTS

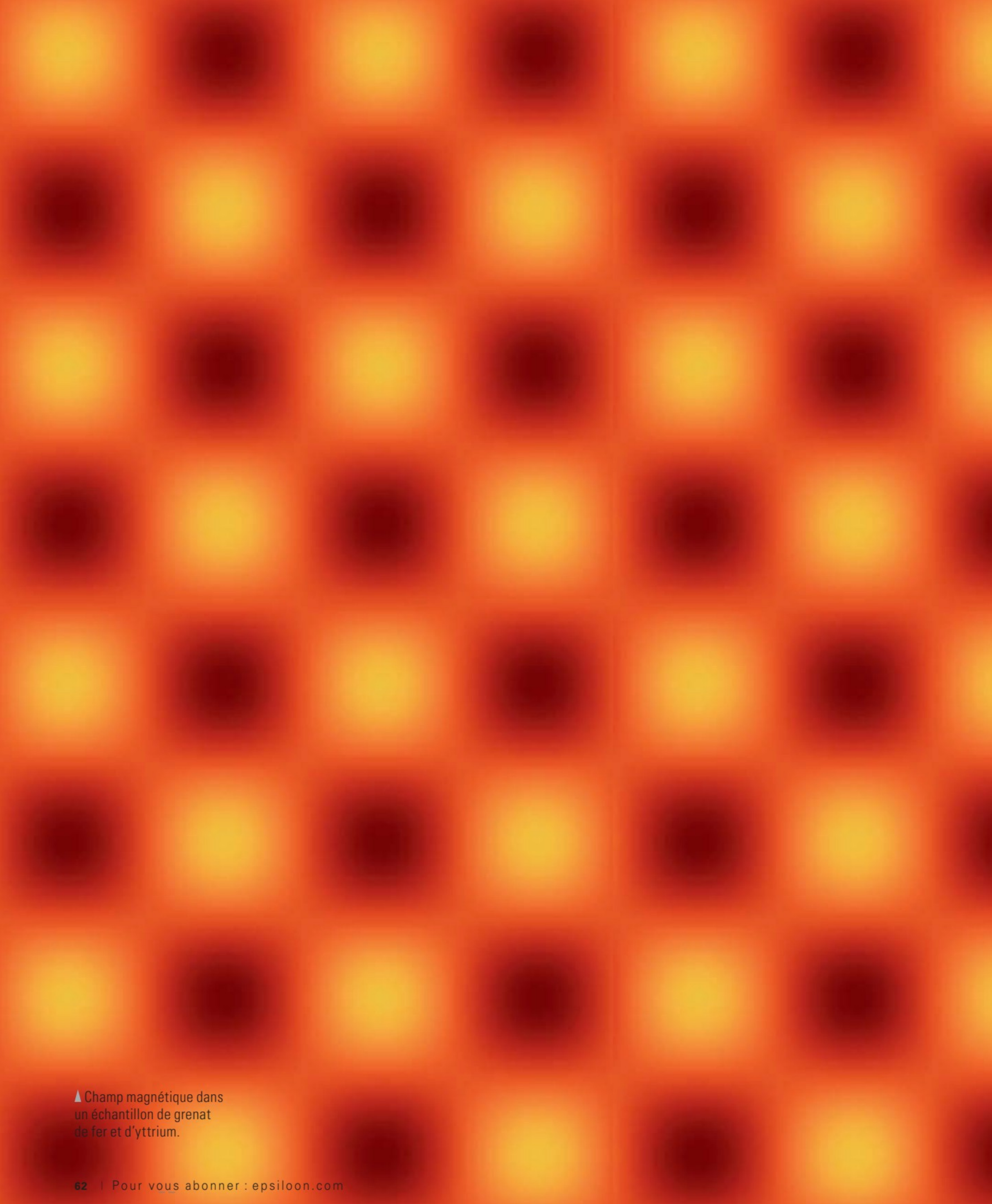
PLoS Biology, 2024

Grâce à des analyses acoustiques et des électroencéphalogrammes, une équipe franco-suisse a découvert que les chiens ont un rythme de vocalisation plus lent que les humains — entre 1 et 3 Hz, contre 4 à 8. Et l'humain s'adapte : « *Lorsque les maîtres s'adressent aux animaux, ils se rapprochent du rythme vocal typique du chien, ce qui facilite la compréhension* », explique Éloïse Déaux, de l'université de Genève. En revanche, le message passe moins bien quand il est vidé de sa substance : avec la prosodie uniquement, l'intelligibilité des commandes s'affaiblit.

ILS NOUS RENDENT PLUS SOCIAUX

PLoS One, 2025

Des études avaient déjà montré que les chiens favorisent les liens de voisinage. Là, des chercheurs japonais ont mené une enquête dans la banlieue de Tokyo pour savoir s'ils amélioreraient vraiment les relations sociales. Verdict : ils trouvent une corrélation positive entre le fait d'avoir un chien et les interactions fortuites — un chien, ça se promène. Mais aussi avec l'existence de relations solides. Le fait de posséder un chien renforce même le sentiment d'appartenance à la communauté. Bien plus qu'avec les chats, ou tout autre animal de compagnie.

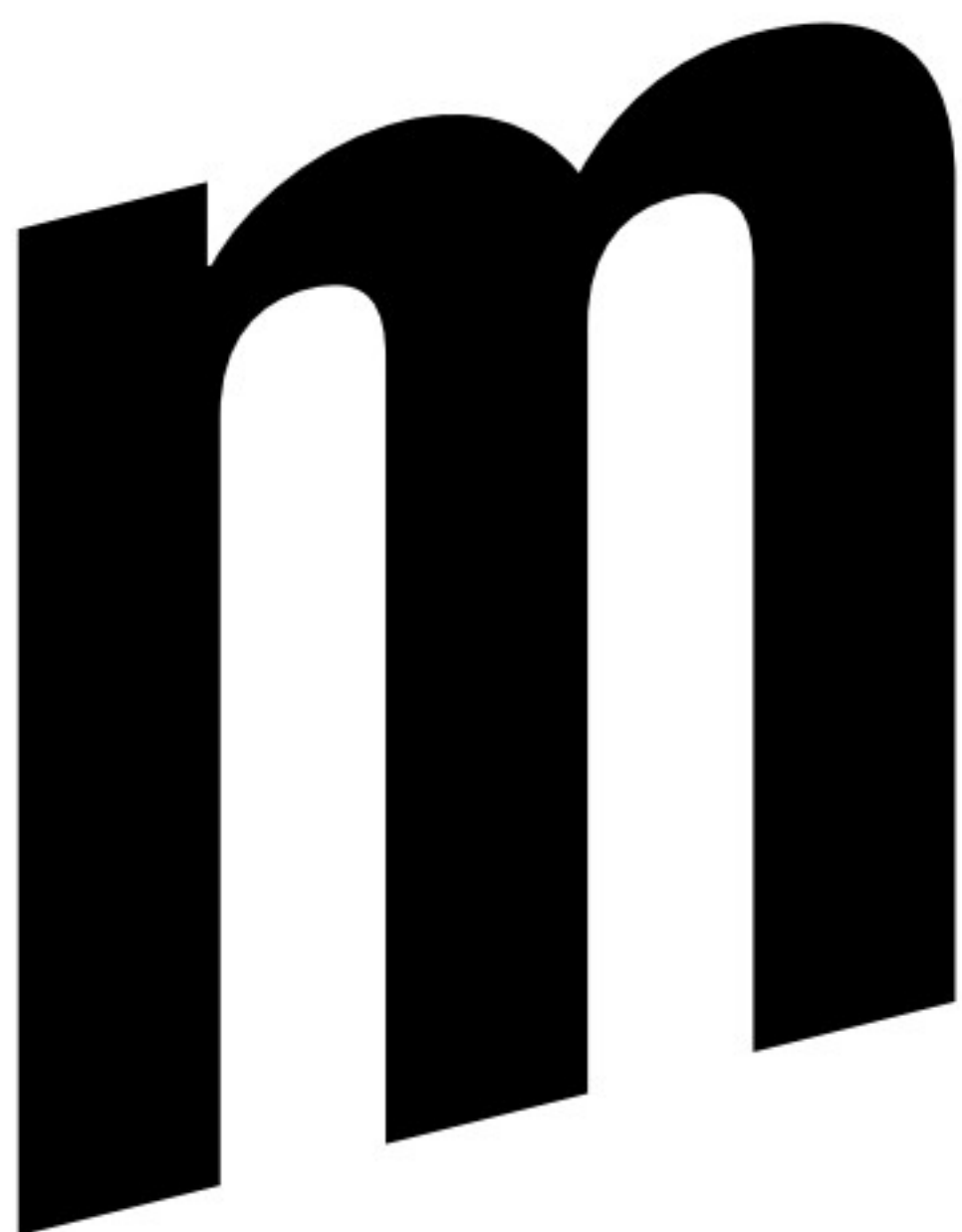


▲ Champ magnétique dans
un échantillon de grenat
de fer et d'yttrium.

Il encode l'information
Il dégage peu de chaleur
Il est miniaturisable
Il se couple avec la lumière
Il est métamorphe

voici le magnon

PAR MURIEL VALIN



agnon. Le nom intrigue. Rien à voir, évidemment, avec son homonyme préhistorique : lui se prononce ma-gu-non. Et ce n'est pas un hominidé, mais une quasi-particule : un phénomène étrange d'interactions entre des atomes qui se mettent à se coordonner et à se comporter collectivement comme s'ils n'en formaient qu'un. Cette bizarrerie physique est en train de faire parler d'elle dans les laboratoires d'électronique. Grégoire de Loubens, qui travaille dessus au CEA, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, témoigne : « *Depuis quelques années, on sent une accélération et même un vrai boom dans ce domaine.* »

« *Le magnon dispose de propriétés que l'on n'avait encore jamais vues ! Parce qu'il est complètement ajustable en fréquence et en vitesse, il surpasse de loin toutes les particules, notamment les photons ou les électrons* », résume Thibaut Devolder, chercheur au CNRS sur le sujet. De grosses entreprises, comme Thales, et des agences militaires comme la Darpa, aux États-Unis, ou la DGA en France, commencent à manipuler la chose ; l'entreprise Toshiba a déjà déposé des brevets. « *Avec cette quasi-particule, des opportunités énormes s'ouvrent devant nous. On va pouvoir passer dans un autre monde* », prophétise Paolo Bortolotti, responsable du laboratoire Albert-Fert,

unité mixte entre le CNRS, Thales et l'université Paris-Saclay, qui consacre une large partie de ses activités à ces nouvelles nanotechnologies numériques.

Magnon... Pour dresser un portrait de la bête, il faut d'abord rappeler que dans certains matériaux magnétiques, comme les aimants, tous les atomes possèdent une miniboussole : un spin. Et que, lorsque le matériau est au repos, tous ses spins pointent dans une même direction. Mais il suffit d'approcher un champ électromagnétique, pour les faire basculer. Le premier spin entraîne ses voisins dans sa chute et une excitation collective surgit, qui se propage dans le matériau comme une onde : une « onde de spins », c'est cela le fameux magnon. Or, cette onde peut encoder de l'information !

Cette idée, les physiciens l'ont eue dès le départ, dès qu'ils ont observé le phénomène dans les années 1950-1960. Elle a même déclenché des torrents de travaux jusqu'à ce que s'impose une « vraie » particule : l'électron. On connaît l'histoire, avec l'invention du transistor, la naissance de l'électronique, des ordinateurs... L'électron s'est imposé parce qu'il est très facile à contrôler, alors que le magnon est éphémère. « *Pendant toute cette période, il est resté un sujet de recherche fondamentale avec des démonstrations de principe, mais on n'arrivait pas à aller beaucoup plus loin* », se souvient Christoph Adelmann, directeur scientifique à l'Imec, l'Interuniversity Microelectronics Centre, en Belgique.

Depuis quelques années, les blocages technologiques qui empêchaient le magnon de se déployer sont en train de tomber : les outils de mesure s'améliorent ; les progrès s'enchaînent dans la connaissance et la fabrication des matériaux magnétiques à l'échelle nanométrique – notamment le YIG, c'est-à-dire le grenat de fer et d'yttrium, et le cobalt-fer-bore, un alliage qui a l'avantage d'être compatible avec l'électronique.

ÇA BOUSCULE TOUT

Les labos arrivent aujourd'hui à contrôler des magnons, et ce de manière reproductible. « *La manière dont nous pouvons les créer, les détecter, les piloter et les utiliser a radicalement changé, et cela bouscule tout* », confirme Dmytro Bozhko, physicien à l'université du Colorado. « *On a non seulement pu peaufiner notre maîtrise, mais on a aussi pu se mettre à étudier de près leurs propriétés singulières, qui n'existent pas avec les autres ondes* », ajoute Thibaut Devolder. Par exemple, les magnons ont la particularité d'être non-réciproques : les ondes n'ont pas les mêmes propriétés – elles changent de fréquence, elles s'atténuent – en fonction du sens dans lequel elles circulent dans un matériau. Les magnons sont aussi non-linéaires : les ondes peuvent se mélanger et s'amplifier au contact les unes des autres et modifier leur fréquence ou leur puissance – de quoi moduler les signaux sans aucun composant électronique

supplémentaire. Ils s'apparient facilement à d'autres particules comme des photons ou des électrons, ce qui peut démultiplier à l'envi les propriétés physiques.

Les progrès s'accroissent. En juin, l'équipe de Dmytro Bozhko a montré qu'elle était capable de maintenir un magnon en vie durant 18 microsecondes dans un YIG. Cela peut paraître infime, mais c'est 100 fois plus long que ce qui se faisait de mieux jusqu'ici. « Cela ne signifie pas qu'un ordinateur à magnons soit déjà à nos portes. Mais cela montre bien que ce domaine est passé de la physique fondamentale à un stade où l'on s'interroge sérieusement sur les types de dispositifs que les magnons vont pouvoir permettre de réaliser », sourit le chercheur.

C'EST LA COURSE

Il faut dire que cette percée s'inscrit dans un contexte particulier : celui d'une course à la miniaturisation et à l'optimisation énergétique en électronique et en informatique, pour laquelle l'électron et les circuits traditionnels basés sur du silicium commencent à montrer leurs limites. C'est là que les deux grands atouts du magnon resurgissent, ceux-là mêmes qui, sur le papier, faisaient espérer des miracles dans les années 1960 : ils sont minuscules, ce sont des ondes de longueur nanométrique ; et ils peuvent transporter de l'information sans déplacer matériellement des charges. Ils consomment donc moins d'énergie que des électrons en mouvement.

De quoi imaginer des composants en magnons, des capteurs, des filtres –notamment pour les radars et les futurs réseaux télécoms 6G et 7G, nous glisse-t-on dans les laboratoires de recherche appliquée. « Jusqu'ici, on avait misé sur le tout numérique dans ces secteurs. Avec le magnon, on est en train de se dire que le traitement de l'information avec des ondes pourrait nous faire revenir à l'analogique, avec des perspectives d'économies d'énergie impressionnantes », confirme Christoph Adelmann. À plus long terme, le magnon pourrait également servir à réaliser des calculs informatiques plus sobres : des calculs dits neuromorphiques « par réservoirs », utilisant directement les ondes pour réaliser des opérations au cœur des fameux matériaux magnétiques, donc de manière bien moins énergivore que les supports numériques actuels. On parle aussi du magnon dans les technologies quantiques pour faire communiquer des objets entre eux ; ou dans le secteur militaire et celui de la guerre électronique... Sur ce sujet, les chercheurs sont peu bavards, mais ils supposent que le

magnon pourrait devenir un candidat idéal pour brouiller des signaux ou, au contraire, pour bloquer des tentatives de perturbation en jouant sur une modification très rapide de la fréquence.

« On n'y est pas encore, mais on sent une accélération de l'intérêt, des financements et des travaux », témoigne Paolo Bortoletti, de Thales. Il signale au passage qu'un grand projet de recherche européen, lancé en 2021, comportait quatre projets consacrés au magnon sur cinq au total, et que des premiers démonstrateurs



Le magnon ouvre des opportunités énormes, on va passer dans un autre monde

Paolo Bortoletti,
responsable du laboratoire Albert-Fert,
chez Thales



devraient voir le jour sous peu. L'un des projets de France 2030 est aussi centré sur la quasi-particule. Un siècle après avoir été prédit théoriquement pour la première fois –c'était en 1930, par le physicien suisse Félix Bloch– et 80 ans après avoir perdu la course à l'information face à l'électron, le magnon est en train de prendre sa revanche.

NOS SOURCES

R.O. Shera et al., *Science Advances* (2026) ; S. Wittrock et al., *Nature* (2026) ; L. Körber et al., *Nature* (2023). Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.

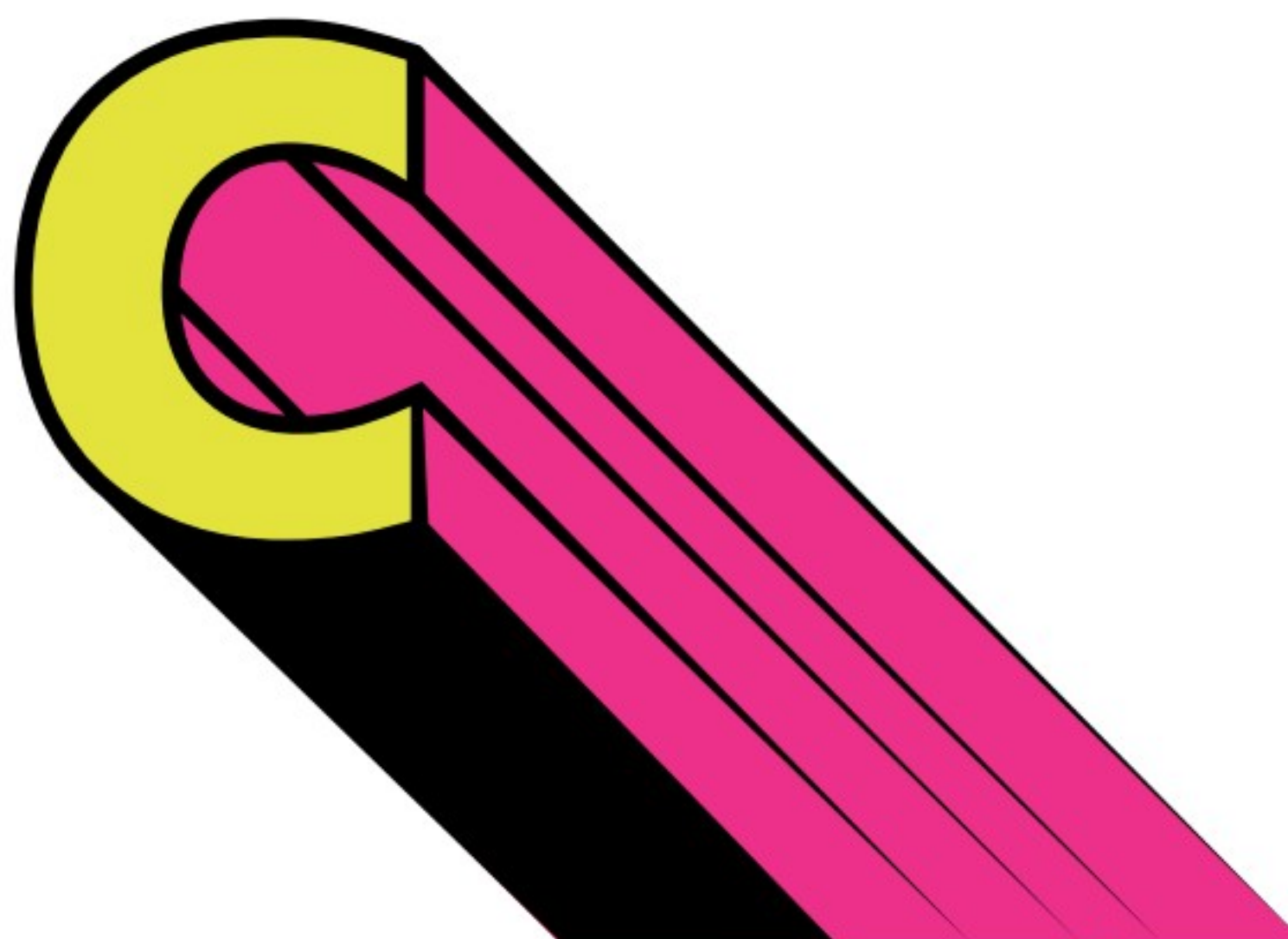


**MOUSSES,
LEVURES,
CHAMPIGNONS...**

LE CONCOURS DE L'EXTRÊME SURVIVOR SPATIAL

L'agenda spatial accélère, et les biologistes aussi, multipliant les expériences. Objectif, trouver la plante idéale, celle capable de résister au vide, aux radiations... Celle capable de nous nourrir dans l'espace.

PAR SIMON DEVOS



e n'est pas de la torture pour le plaisir. «*Nous cherchons avant tout à déterminer les mécanismes qui permettent à certains organismes de survivre aux nombreux défis que présentent l'espace et la surface des autres astres*», se défend le biochimiste Rajyaguru Purusharth, de l'Institut indien de la science, à Bangalore. Car loin de notre havre terrestre, les menaces sont plurielles. Gravité plus faible, voire inexistante. Atmosphère absente, peu dense ou non circulante. Composés toxiques pour la vie –comme les perchlorates, présents en grande quantité dans les sols martiens. Rayonnements ionisants ou ultraviolets que l'on sait capables de traverser jusqu'à la membrane des cellules vivantes pour les attaquer de l'intérieur. Or, pour chacun de ces obstacles, les plantes, les champignons, les bactéries semblent trouver une parade, un moyen de résister.

DANS DES FUSÉES V2

«*Les études sont publiées tous azimuts, nous avons même du mal à suivre toutes les actualités du secteur!*», témoigne Robert Ferl, de l'université de Floride. «*Plus qu'un simple coup d'accélérateur dans les recherches, c'est un véritable changement de paradigme que nous vivons*», renchérit Lucie Poulet, de l'université Clermont Auvergne. «*Le contexte actuel, avec les missions Artemis vers la Lune et la perspective à moyen terme de l'installation d'une base*

LA PLANTE QUI POUSSE DANS LE RÉGOLITHE

C'est une première ! Des botanistes de l'université de Floride ont eu accès à quelques grammes de régolithe lunaire, cette matière grisâtre et meuble présente à la surface de notre satellite, rapportée sur Terre lors des missions Apollo. Et ils ont réussi à y faire germer une plante verte, *Arabidopsis thaliana*, en compensant simplement l'absence de nutriments par l'ajout d'une solution enrichie. «*Cette plante a grandi malgré l'hostilité et la toxicité potentielle du milieu*, se réjouit Robert Ferl, coauteur de l'étude. *La croissance était cependant difficile, nous avons observé de nombreux signaux de stress au niveau morphologique et génétique.* »

LA MOUSSE QUI SURVIT AUX RAYONS GAMMA

Les botanistes la surnomment « la mousse du désert ». Présente dans de nombreuses régions arides, *Syntrichia caninervis* semble résister à tout, comme l'ont montré des chercheurs chinois en 2024. À une température de -196 °C. À une dessiccation intense, en supprimant jusqu'à 98 % de son humidité. Et surtout à une exposition extrême au rayonnement gamma. Chaque fois, non seulement cette mousse refuse de mourir, mais elle se remet très vite du stress intense auquel elle a été soumise. Si l'on combine toutes ces conditions, son environnement s'approche de celui de Mars.

LA LEVURE QUI RÉSISTE AUX IMPACTS DE MÉTÉORITES

Saccharomyces cerevisiae a survécu à un taux élevé de perchlorates, des composés toxiques présents dans les sols martiens. Mieux, cette levure utilisée pour la fermentation du pain a résisté à de violentes ondes de choc simulant des impacts météoritiques. «*Les champignons ont surmonté ces difficultés, ne connaissant qu'un retard de croissance*, observe Rajyaguru Purusharth, de l'Institut indien de la science, à Bangalore. *Nous pensons que la clé de leur résistance réside dans leur capacité à déclencher des protections moléculaires au niveau génétique.* »





LE POIS CHICHE QUI S'ÉPANOUIT DANS DES CONDITIONS LUNAIRES

Dans un analogue de sol lunaire, des chercheurs américains ont juste ajouté du vermicompost et des champignons mycorhiziens... et les graines ont germé. Les plantes ont même poussé jusqu'à produire de nouvelles graines fertiles. «*Les champignons ont aidé les plantes à accéder à des nutriments*», décrit Jessica Atkin, de l'université A&M du Texas. *Ils ont aussi séquestré des métaux lourds toxiques présents dans le substrat et amélioré la structure du sol pour permettre le développement du système racinaire.* »

lunaire habitée, a déclenché une multiplication de ces études», explique Eugénie Carnero-Diaz, du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. La survie des plantes dans l'espace n'est pas un sujet scientifique nouveau en soi. Dès 1946, des graines de maïs, de riz et de coton avaient été envoyées en vol suborbital dans des fusées V2, et plantées une fois revenues –l'objectif étant de comprendre l'effet des radiations sur leur survie et leur capacité à germer. Mais dans les décennies qui ont suivi, les recherches ont continué au compte-gouttes, avec souvent un objectif théorique de compréhension des limites du vivant. «Aujourd'hui, on réalise que les plantes ou les champignons seront non seulement utiles, mais aussi nécessaires à des séjours de longue durée loin de notre planète», souligne Eugénie Carnero-Diaz.

SEUL SUR MARS

Pour l'alimentation des astronautes d'abord –les ravitaillements mensuels de l'ISS seront difficiles à transposer à la Lune, sans parler de Mars. «*Pour la santé mentale des astronautes également, les plantes seront centrales, car nous connaissons les bienfaits psychologiques d'un environnement végétalisé*», réfléchit Tomomichi Fujita, de l'université d'Hokkaido, au Japon. «*Certains astronautes ayant séjourné dans l'ISS font part d'une lassitude alimentaire qui s'installe lorsque leurs menus se répètent et ne*

contiennent pas de produits frais. Au point qu'ils sautent parfois des repas», décrit Troy Miller, biologiste moléculaire à l'université d'Australie occidentale, à Perth. L'idée étant de reconstituer un écosystème complet, depuis les communautés de micro-organismes jusqu'aux fruits et légumes, en passant par le recyclage des déchets humains en fertilisants –oui, comme dans le film *Seul sur Mars*–, et pourquoi pas le renouvellement de l'atmosphère ou la purification de l'eau...

De quoi justifier de mettre les plantes, bactéries, mousses, lichens, champignons à l'épreuve, pour tester leurs réactions →

dans les conditions spatiales. « *Nous sommes de plus en plus étonnés par la plasticité des végétaux, leur capacité à répondre à des conditions extrêmes*, témoigne Valérie Legué, professeure en biologie végétale à l'université Clermont Auvergne. *Nous savons par exemple que les plantes possèdent la capacité de détecter le sens dans lequel s'opère la gravité, ce qui guide leur pousse. Or nous observons que la microgravité qui règne à bord de l'ISS ne représente pas un problème si important que cela. Elles grandissent en s'adaptant plutôt bien à cette contrainte.* » Chou chinois, pomme de terre, laitue ou piment ont été cultivés avec succès, et dévoilent peu à peu ces mécanismes d'adaptation.

MINI-ÉCOSYSTÈMES

Idem pour toutes les autres conditions extrêmes dans lesquelles on les plonge: plantes, champignons, bactéries, tous semblent s'adapter à des milieux d'une diversité étonnante. Certains, comme les spores de mousse, enclenchent des processus de déshydratation contrôlée. D'autres déploient au sein de leurs cellules des boucliers antioxydants permettant de protéger l'ADN des radiations. Ou synthétisent des composés moléculaires capables de réparer les dégâts. « *La plupart des végétaux possèdent un génome plus grand que celui des animaux: de par leur histoire évolutive, les plantes semblent intégrer de nombreux moyens de défense*, observe Eugénie Carnero-Diaz. *Mais c'est surtout la finesse de la régulation qui s'avère formidable, que ce soit en génétique ou en épigénétique. Cela leur permet, parfois en une seule génération, de s'adapter à des conditions extrêmes, et même de transmettre leurs adaptations aux futures générations.* »

Comme ces levures qui, face à des ondes de choc incroyablement puissantes, ont réagi en produisant massivement des condensats de protéines, pour former des sortes de boucliers protégeant le code génétique contenu dans l'ARN messager de leurs cellules. « *L'organisme avait, inscrit dans son génome, la recette pour synthétiser cette protection, et il a pu y faire appel lorsque le stress est devenu intense* », suggère Rajyaguru Purusharth.

Mais aussi ces surprenants lichens, qui se protègent de rayonnements X intenses grâce à la synthèse de cristaux d'oxalate de calcium. « *Ces composés sont produits naturellement par les champignons dans des conditions de stress et, en se fixant à la surface du lichen, ils absorbent les rayons X, les empêchant d'atteindre l'organisme* », admire Kaja Skubala, de l'université Jagellonne de Cracovie, en Pologne. Ce partenariat symbiotique, l'une des clés de la survie pour de nombreuses espèces sur Terre, fait aussi des miracles dans des environnements extra-terrestres. Un constat soutenu également par l'étude des plants de pois chiche dans un analogue de régolithe lunaire, grâce au

LE LICHEN QUI PASSE AUX RAYONS X

« *Nous avons testé deux espèces et les deux ont survécu. L'une d'elles est même restée métaboliquement active* », assure Kaja Skubala, de l'université Jagellonne de Cracovie. Ces lichens ont pourtant été soumis au panel complet des agressions de l'environnement martien: une atmosphère de CO₂ à 95 %, une humidité extrêmement faible, une pression inférieure à 7 millibars et, surtout, une exposition à 50 grays de rayons X, une dose comparable à ce que la surface de Mars reçoit en un an. « *Nous avons observé une production de cristaux d'oxalate de calcium, ils ont pu servir de barrière protectrice contre les radiations.* »

support des champignons: dans l'espace, la symbiose change de dimension, elle forme presque un mini-écosystème à elle seule.

NOUVELLES FRONTIÈRES

Passer à l'écosystème complet, aller au-delà des records individuels, c'est bien là l'étape suivante: tester des organismes en interaction et en grande quantité; passer de l'étude de la survie d'un individu à celle d'une population entière. « *Pour l'instant, nous ne pouvons pas dire grand-chose des rendements de ces plantes dans l'espace, car nous n'en avons étudié que de petits échantillons* », admet Mélanie Decourteix-Volle, de l'université Clermont Auvergne. Mais une feuille de route signée fin

LES SPORES QUI SURMONTENT LE VIDE SPATIAL

Pression nulle, températures extrêmes, absence de gravité, rayonnement UV maximal... Et pourtant ! Une étude vient de montrer que des spores de mousse exposées durant 283 jours dans le vide spatial, hors de la Station spatiale internationale, ont survécu à plus de 80 % et même germé normalement une fois rapatriées. « *Ni la microgravité ni le vide ne semblent les affecter : leur seul ennemi est l'exposition aux UV* », précise Tomomichi Fujita, de l'université d'Hokkaido. Selon les estimations des chercheurs, elles pourraient survivre jusqu'à quinze ans dans l'espace avant d'être véritablement affectées.

LA BACTÉRIE QUI RÉSISTE AUX ULTRAVIOLETS

Plusieurs espèces de cyanobactéries, productrices d'oxygène et de matière organique sur Terre, ont été cultivées sur un analogue de régolithe martien par l'exobiologiste Felipe Gómez et son équipe de l'Institut national de technique aérospatiale, en Espagne. « *La sécheresse aurait dû endommager les cellules. Et pourtant, quasiment toutes ont survécu*, témoigne le chercheur. *Certaines ont même récupéré au-delà de 70 jours, après des irradiations UV intenses.* » En particulier, le taux de survie est accru lorsque des argiles, isolantes, sont ajoutées à l'échantillon.

2025 par de nombreux spécialistes internationaux indique que cette étude des rendements sera la prochaine priorité.

« *Nous travaillons aussi à l'optimisation des plantes existantes par des techniques de modification de leur génome ou de son expression, afin de les rendre plus résistantes, mais aussi plus riches*, indique Troy Miller. *Et nous avons de bons espoirs que ces recherches qui concernent le secteur spatial aient aussi des bénéfices pour les cultures sur Terre, notamment dans le contexte actuel de bouleversement climatique.* »

Déjà, tous ces cas redéfinissent les frontières de l'adaptabilité de la vie. « *Si des organismes peuvent subsister dans des conditions qui nous semblent aussi rudes, on*

peut envisager sérieusement la possibilité de formes de vie dans l'environnement martien actuel, ose Felipe Gómez, de l'Institut national de technique aérospatiale, en Espagne. *La survie des organismes jusque dans le vide spatial pourrait même représenter un argument en faveur de la panspermie, cette hypothèse selon laquelle la vie pourrait se répandre d'astre en astre, en traversant l'espace à bord d'astéroïdes ou de comètes.* » Le concours de l'extrême survivor est donc lancé. Les candidats sont nombreux, presque tous victorieux. En tout cas bien plus résistants, plus adaptables que nous autres pauvres animaux. Même le tardigrade, champion de la survie, ne paraît plus si fort.

NOS SOURCES

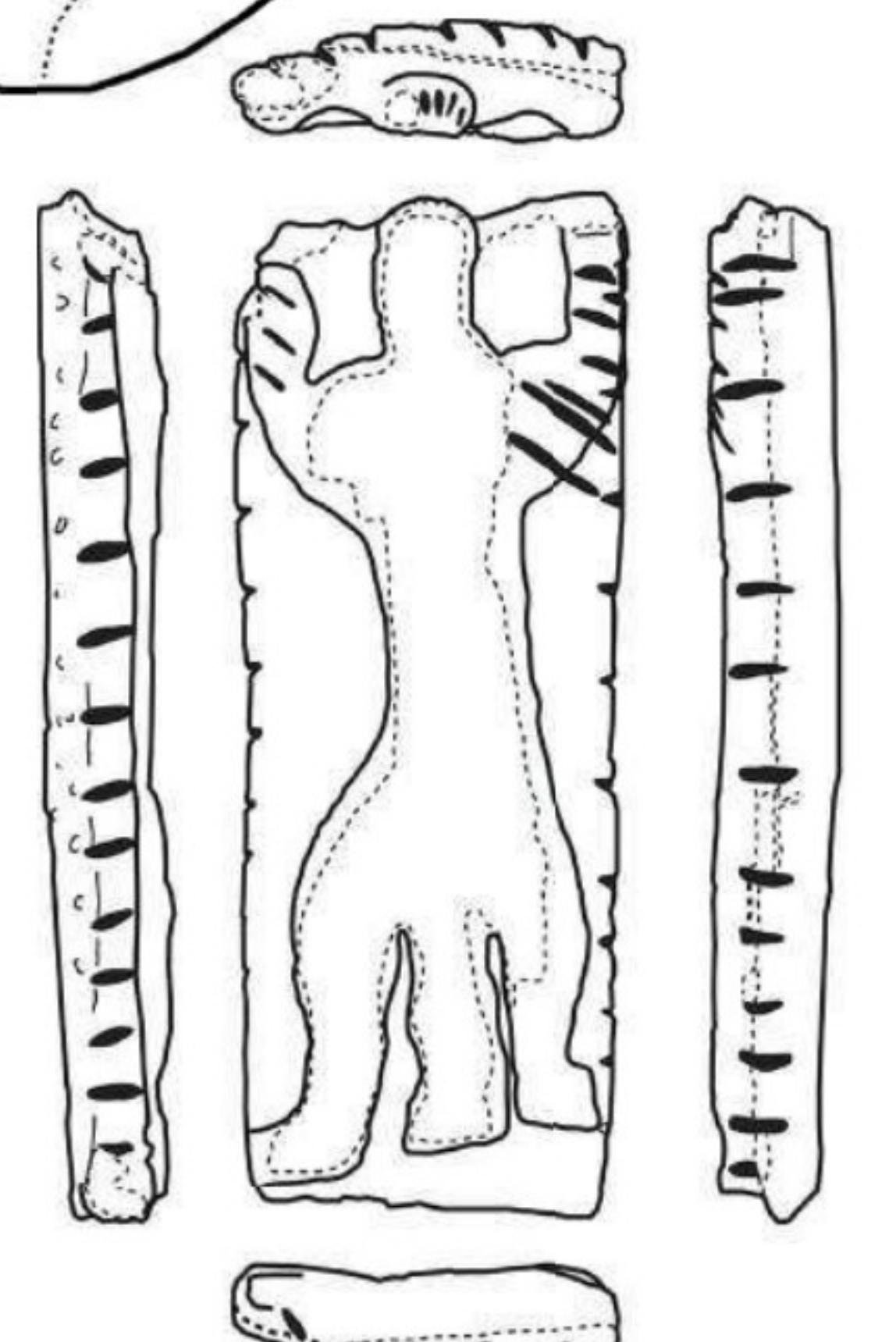
Fountain et al., *New Phytologist* (2025); De Micco et al., *NPJ Microgravity* (2023); Maffei et al., *Communications Biology* (2024); Kordyum et al., *Life Science in Space Research* (2021). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilonon*.



35 000 ans avant le cunéiforme . . .

La première écriture ?

PAR ÉMILIE RAUSCHER



Comme tout le monde, l'écriture a officiellement sa date et son lieu de naissance. En l'occurrence, le milieu du IV^e millénaire avant notre ère, dans la cité d'Uruk, en Mésopotamie. Après quelques siècles de tâtonnements, les scribes sumériens traçaient sur leurs tablettes d'argile des signes cunéiformes capables de représenter la langue parlée. Une fabuleuse invention qui sortait l'humanité de ses millions d'années de préhistoire pour la faire entrer dans l'histoire.

Le récit est bien connu, très beau... mais incomplet. Il y manque la longue, très longue gestation de ce système scriptural. Car avant l'écriture, qui vit peu à peu apparaître l'alphabet, il y eut des proto-écritures. Avant les lettres et les signes, il y eut les pictogrammes et les signes-images. Et encore avant, des motifs géométriques étranges, dont on ne sait ce qu'ils pourraient encoder. Jusqu'où remonter ? Très loin, selon Ewa Dutkiewicz et Christian Bentz.

UNE INFORMATION

Pour les deux chercheurs qui écument depuis plusieurs années les musées et rassemblent des artefacts de cette culture aurignacienne,

L'analyse exploite en effet les outils de la linguistique : mesure de la fréquence d'apparition et de répétition des signes, de la prédictibilité des séquences, etc. «*Nous utilisons l'entropie, une mesure standard de la densité d'information*, indique Christian Bentz. *Une séquence prévisible comme IIIIIIIIII a une entropie faible, tandis qu'une entropie élevée signale plus de combinaisons possibles, comme dans IXIXoXXIoII.* » Premier résultat, comme une validation du procédé : les taux de répétitions mesurés excluent tout lien avec un langage parlé. Pour le reste, les deux chercheurs sont allés de surprise en surprise.

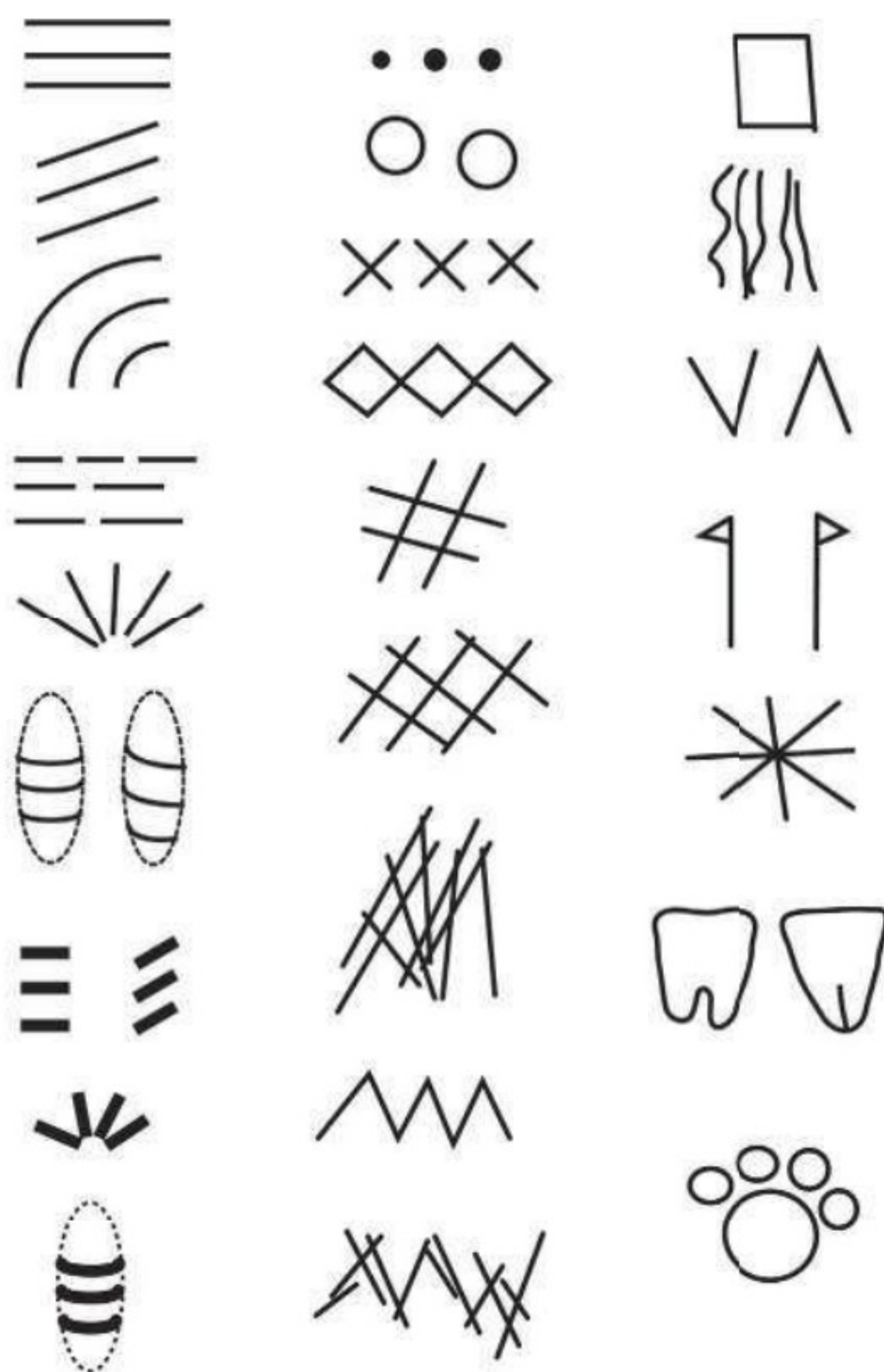
son sens, elle serait à un niveau de complexité et de densité équivalent au proto-cunéiforme d'Uruk qui, de 3500 à 3200 ans avant notre ère, précéda le cunéiforme. La comparaison de leurs propriétés suggère même que la proto-écriture urukéenne serait plus proche des séquences aurignaciennes que des écritures modernes!

« *Le fait que le principal facteur prédictif de la densité d'information soit le type de support était tout aussi inattendu* », ajoute Ewa Dutkiewicz. Les figurines arborent toujours plus de diversité de signes et moins de répétitions que les outils, les ornements personnels et les autres objets – dans cet ordre. Le choix des signes est aussi spécifique : les croix sont fréquentes sur les outils et sur les figurines animales, mais pas sur les anthropomorphes ; les points, eux, y abondent.

ainsi que sur les félins, mais sont absents ailleurs. L'archéologue Guillaume Porraz, spécialiste des systèmes techniques paléolithiques au CNRS (laboratoire LAMPEA, Aix-en-Provence), identifie même deux niveaux d'information dans ces objets: « *Les figurines de mammouths, par exemple, sont elles-mêmes des signes. Et les marques ne sont pas intégrées à leur conception, elles sont apposées par-dessus.* »

TRANSMISSION

« Ces signes ne sont pas placés au hasard, insiste Christian Bentz. Il y a un système, avec ses conventions, sinon nous n'aurions pas ce schéma statistique. » Et cette convention a perduré sur un temps incroyablement long. « Le schéma statistique reste stable sur une dizaine de milliers d'années en termes de densité



d'information – c'est plus long que toute la période dite historique», s'étonne le chercheur. Cela impliquerait une forme de transmission de son «code» dans le temps et dans l'espace. Qui en était le garant? Tout au plus, vu la faible proportion d'objets marqués, peut-on penser que ce savoir était réservé à une élite. L'information stockée a-t-elle varié au fil du temps? La statistique ne permet pas de le savoir. Pas plus que d'élucider la disparition de ce système aurignacien – car le cunéiforme ne lui est pas apparenté.

Les deux auteurs aimeraient remonter encore plus loin, documenter des transitions dans ce codage – il semble que le nombre d'artefacts augmente au fil du paléolithique et que l'information contenue se complexifie. Ils prévoient d'analyser des objets plus anciens, d'Afrique et d'Europe, voire créés

▲ Une vingtaine de types de signes recensés.

par Neandertal. De quoi intriguer Thomas Terberger, qui les étudie en détail: « Cette approche statistique pourrait en théorie être appliquée à ces artefacts, mais nous en avons encore assez peu, une quinzaine, ce qui peut être une limite. Il est toutefois possible de comparer le degré de complexité graphique entre deux artefacts néandertalien et sapiens. »

L'analyse de cette graphie «matérielle» pourrait aussi se conjuguer avec celle des 32 signes qui ornent les parois des grottes paléolithiques, dont beaucoup ont été tracés à la même époque. Ces cercles, spirales et grilles sont longtemps restés dans l'ombre des sublimes fresques voisines, jusqu'à ce qu'en les recensant, Genevieve von Petzinger, archéologue de l'université de Victoria, y discerne au milieu des années 2000 un système de communication. Si quelques signes sont communs, leurs séquences diffèrent, tout comme, vraisemblablement, les codes sous-jacents. On ne marque pas un lieu et un objet pour les mêmes raisons...

REMONTER ENCORE PLUS LOIN

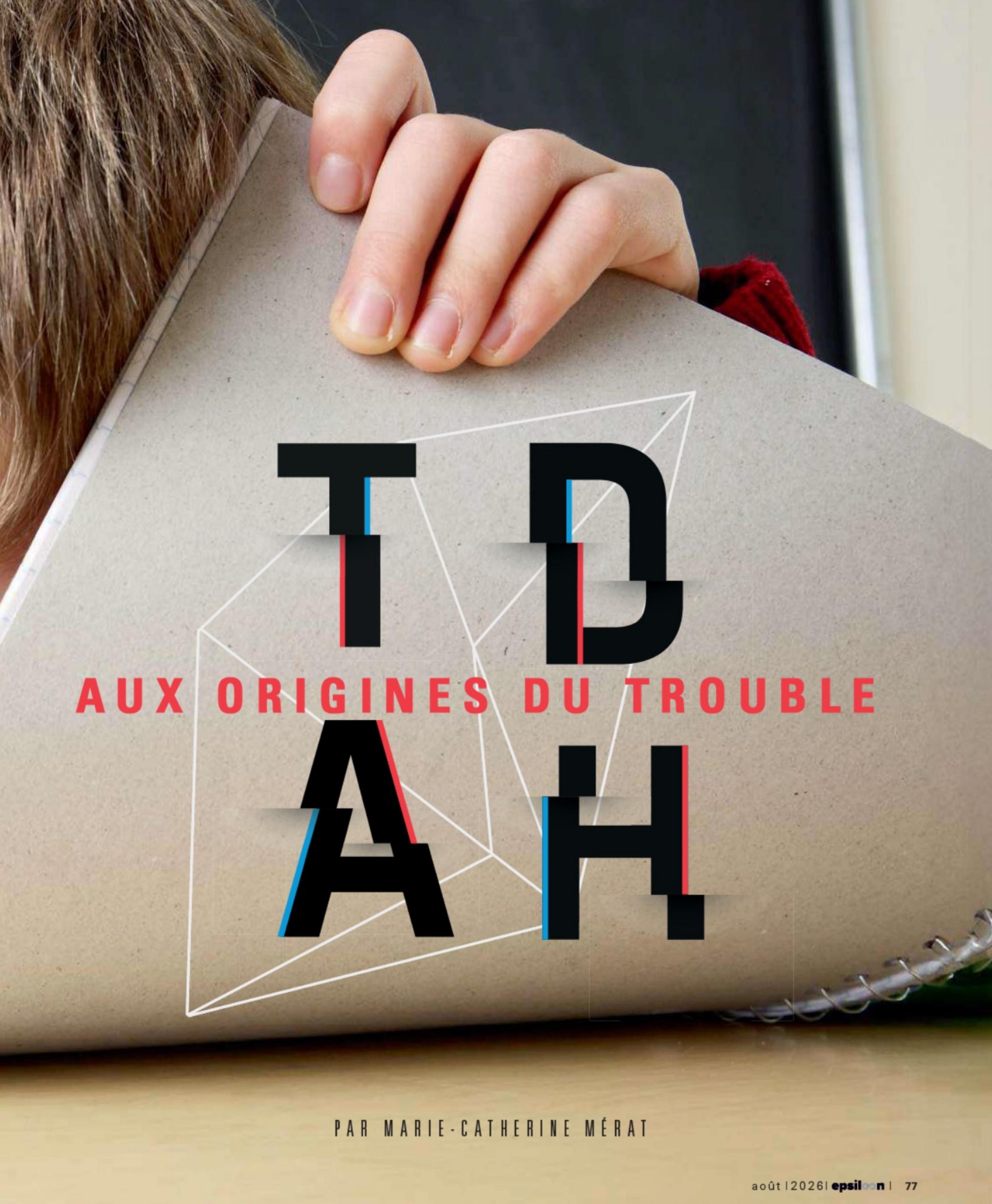
Comment aller plus loin? « Il faut toujours recontextualiser l'environnement social, culturel et économique des signes », rappelle Guillaume Porraz, découvertes à l'appui. Il y a d'abord eu celle, en 2016, de centaines de fragments de coquilles d'œufs d'autruche datés de plus 60 000 ans et gravés de motifs répétés, des bandes hachurées horizontales et des stries verticales – la pratique est présente sur trois sites, en Afrique du Sud et en Namibie, comme s'il y avait une mise en réseau. Puis il y a eu celle, en 2021, d'un os d'élan gravé d'un losange, vieux de 100 000 ans – une époque de transformation avec l'apparition de nouveaux comportements, de nouvelles techniques, des premiers symboles. « Entre le premier et les seconds, on passe de l'individuel au collectif, interprète l'archéologue. Cet os unique était personnel, presque intime. À l'inverse, les œufs étaient transmis tout en restant fixés dans un espace; leurs motifs, par leur valeur collective, avaient acquis des fonctions de communication et créaient du lien. »

Ces prémices des signes aurignaciens racontent la lente progression de notre lignée sur les chemins de l'information et de la maîtrise du signe. Pour l'heure, la méthode développée par Ewa Dutkiewicz et Christian Bentz soulève plus de questions qu'elle n'apporte de réponses, et génère son lot de débats. Les auteurs le reconnaissent: ce n'est qu'un début. Mais c'est aussi le début de toute notre histoire.

NOS SOURCES

Christian Bentz et Ewa Dutkiewicz, *PNAS* (2026); E. Dutkiewicz et al., *Scientific Data* (2020); Pierre-Jean Texier et al., *PNAS* (2010); Valentina Decembrini et al., *PLOS One* (2026); Genevieve von Petzinger, university of Victoria (2009). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilonon*.



A hand with light skin is holding a spiral-bound notebook with a light brown, textured cover. The notebook is open, and the pages are visible. A geometric graphic consisting of white lines forming a cube-like structure is overlaid on the notebook cover. The letters 'T', 'D', 'A', and 'H' are printed in large, bold, black font, with the 'T' and 'D' at the top and 'A' and 'H' at the bottom. The letters are partially obscured by the geometric lines. The text 'AUX ORIGINES DU TROUBLE' is printed in a smaller, red, sans-serif font between the letters 'T' and 'D'.

T D AUX ORIGINES DU TROUBLE A H

PAR MARIE-CATHERINE MÉRAT



la fin de cette vidéo, tu sauras si t'as un TDAH.» Fin 2025, le #TDAH était tendance sur TikTok. Au 30 mars 2026, il cumulait plus de 696 000 publications. «*Tout le monde veut son TDAH*», observe Sara Fally, psychologue pour enfants dans le service recherche du CHU de Montpellier. TDAH? Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, un trouble caractérisé par deux grandes catégories de symptômes, combinés ou non: l'inattention et l'hyperactivité.

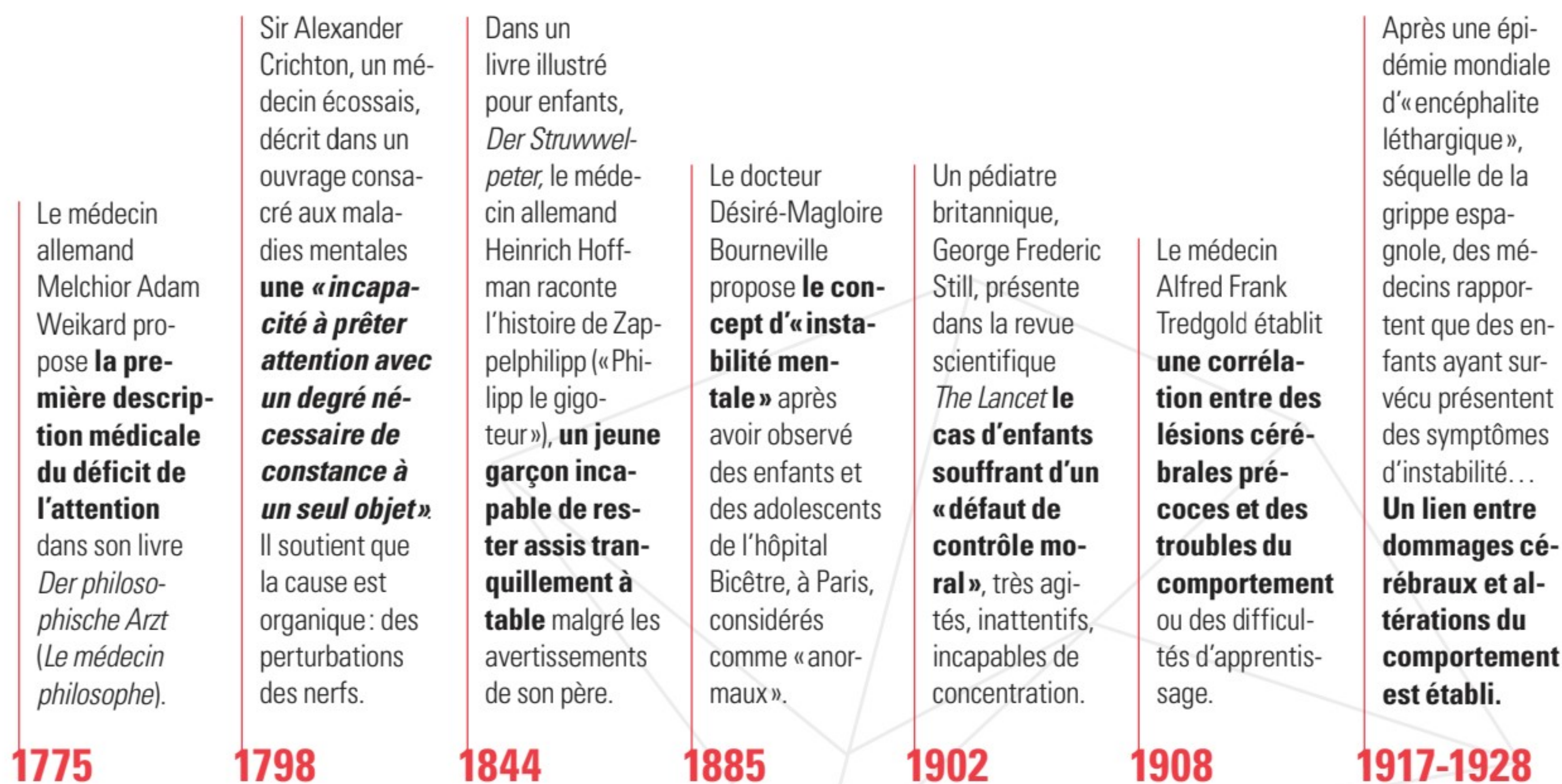
Le fait est que le nombre de diagnostics est en augmentation un peu partout dans le monde. Le phénomène est particulièrement marqué aux États-Unis, passés entre 2016 et 2022 de 8,9% à 10,5% d'enfants diagnostiqués, ce qui représente un million d'enfants supplémentaires en six ans. En Europe, la tendance est également à la hausse: l'utilisation de médicaments contre le TDAH augmente de 8,96% par an.

À croire que nos sociétés occidentales produisent des TDAH à la pelle. De là à douter de l'existence réelle du trouble, il n'y a qu'un pas, que d'aucuns n'hésitent pas à franchir. «*Le TDAH n'existe pas, il a été inventé pour vendre un médicament*». Ces propos me sont, malheureusement, rapportés relativement fréquemment, de même que le refus de renouveler la prescription médicamenteuse», rapporte ainsi le pédopsychiatre spécialiste du TDAH Louis Vera sur son site Internet. Incompris et parfois mal-aimé, voilà un trouble qui ne cesse de faire parler de lui depuis des décennies.

«LA BOUGEOTTE»

La faute, peut-être, à la complexité de ses origines. Lesquelles seraient bien plus anciennes qu'on ne le croit: les premières descriptions du trouble remontent à plus de deux cents ans. Dès 1798, un médecin écossais, sir Alexander Crichton, décrit des patients facilement distraits par des stimuli extérieurs, un bruit, de la lumière, et qui paraissent très agités. Ils ont «*la bougeotte*», note-t-il. En 1902, c'est un pédiatre britannique, George Still, qui détaille le cas d'enfants souffrant, incapables de maintenir leur attention, impulsifs, piquant des





crises de colère... La littérature enfantine, aussi, dépeint dès le XIX^e siècle des bambins dont le comportement rappelle étrangement le TDAH. Comme «Philipp le gigoteur» dans *Der Struwwelpeter*, un livre illustré allemand des années 1840. Ce garçon est incapable de rester assis tranquillement à table malgré les avertissements de son père : il se balance d'avant en arrière sur sa chaise jusqu'à tomber à la renverse, emportant avec lui nappe, couverts, nourriture... «On parlait beaucoup de ces enfants-là dans les livres pour enfants, on les appelait "touche-à-tout", "Sidonie la petite sans soin", on disait : "On ne comprend pas parce qu'ils sont quand même plutôt intelligents, mais ils sont un peu idiots parce qu'en fait, ils oublient des trucs, ils sont distraits..."», décrit Christine Gétin, directrice de l'association HyperSupers TDAH France.

Cette ancienneté du trouble ne fait pourtant pas l'unanimité. Elle ne convainc notamment pas Matthew Smith, professeur d'histoire de la santé à l'université de Strathclyde, à Glasgow. «L'article de George Still dans *The Lancet* est présenté comme une preuve évidente que le TDAH a toujours existé. Mais ce sont des enfants qui sont violents envers leurs parents et leurs frères et sœurs, ils font du mal à leurs animaux de compagnie, ils mettent le feu à des objets... ils sont sérieusement perturbés ! Ils ne sont pas simplement un peu hyperactifs ou impulsifs. George Still lui-même disait qu'ils étaient très rares.»

Le trouble ne s'appelait pas encore TDAH à l'époque. Il ne prendra ce nom qu'en 1980, dans la troisième édition du Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, le DSM, édité par l'association américaine de psychiatrie, devenu une référence pour les praticiens du monde entier. Avant cela, la littérature médicale évoque successivement un «trouble hyperkinétique impulsif», un «dysfonctionnement cérébral minime», puis une «réaction hyperkinétique de l'enfance» à la fin des années 1960, l'accent étant mis sur l'hyperactivité, particulièrement visible chez les jeunes garçons.

UNE VIEILLE HISTOIRE

Le lien avec l'attention n'est réellement établi qu'en 1972, dans un article de Virginia Douglas, professeure à l'université de Montréal. «Elle a mis ensemble l'attention et l'hyperactivité pour la première fois, et décrit l'effet des stimulants. Ça a été un papier fondateur pour l'idée du TDAH», retrace Philippe Robaey, neuropsychiatre, professeur à l'université d'Ottawa.

Le TDAH, donc, est une vieille histoire –peut-être même plurimillénaire : une étude publiée en 2020 révèle que les gènes associés au trouble existaient déjà, et même avec une fréquence plus élevée, au paléolithique, il y a 45 000 ans ! Et levons tout de suite un malentendu : la prévalence n'a pas augmenté depuis trente ans, ni en France ni ailleurs dans le monde. Elle tourne autour de 5% chez les enfants et 2,5% →



chez les adultes. On ne parle pas là du nombre de diagnostics posés (qui est en augmentation), mais bien de la prévalence «réelle» dans la population qui, elle, apparaît stable.

«C'est la prévalence épidémiologique, mesurée en allant sur le terrain interroger les parents au sujet de leurs enfants à l'aide d'outils diagnostiques de référence», clarifie Stephen Faraone, professeur émérite de psychiatrie à l'université médicale SUNY Upstate, et président de la Fédération mondiale de TDAH. Depuis une quarantaine d'années, des dizaines de ces études ont été menées aux États-Unis, en Europe, au Canada, en Amérique du Sud, en Asie... «Les résultats sont identiques, souligne-t-il. La prévalence épidémiologique est la même et elle n'a pas évolué au fil du temps.» Il n'en reste pas moins que le nombre de diagnostics posés est, lui, à la hausse. «Il y a effectivement une augmentation dans la plupart des pays occidentaux depuis une vingtaine ou une trentaine d'années», constate Hugo Peyre, pédopsychiatre au CHU de Montpellier et chercheur en épidémiologie.

Les raisons sont multiples. La première, c'est que le trouble est mieux connu et reconnu par les professionnels de santé. C'est le cas en France en particulier, où la communauté psychiatrique a longtemps affiché une certaine résistance: «Quand j'ai commencé mon internat, il y a vingt ans, on faisait partie des rares centres en France où on pouvait poser les diagnostics, se remémore Cédric Galéra, professeur

de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent à l'université de Bordeaux. *Il y avait beaucoup de résistances. C'était assez mal vu.* » «Il y avait ces idées reçues, le TDAH serait un trouble américain», se souvient aussi Stephen Faraone, qui travaillait en Europe dans les années 1990.

FAIRE BOUGER LES LIGNES

Sans compter que le médicament faisait peur: le méthylphénidate, ce stimulant prescrit aux États-Unis dès les années 1960 pour traiter les symptômes du TDAH –plus connu sous le nom commercial de Ritaline– est suspecté de provoquer une dépendance, voire d'être à l'origine même du trouble. «La Ritaline a d'abord été un médicament à la recherche d'un débouché. Il existe des preuves irréfutables datant du début des années 1970 qui montrent que les laboratoires pharmaceutiques Ciba ont activement promu, comme ils le font encore aujourd'hui, non seulement le médicament, mais aussi le trouble», affirme Matthew Smith. «Que les firmes pharmaceutiques poussent pour vendre le médicament, c'est une certitude. Mais ça ne veut pas dire que le TDAH est une maladie qui a été inventée par les firmes pharmaceutiques pour vendre un médicament», rétorque Philippe Robaey.

En réaction, le sujet fait l'objet de plusieurs déclarations de consensus internationales –vastes bilans des connaissances scientifiques accumulées. En 1998 aux États-Unis; en 2002;



en 2010 en Europe; jusqu'à la dernière en 2021, menée par Stephen Faraone aux côtés de 79 auteurs issus de 27 pays. *«Nous estimions qu'il était nécessaire de rassembler en un seul endroit les études les plus solides dont nous disposions, afin que les gens puissent les consulter, s'y référer.»*

UN HANDICAP COGNITIF

Et dans la société, peu à peu, le regard change, sous l'impulsion notamment des associations de parents. *«En 2002, quand j'ai créé HyperSupers TDAH, personne ne connaissait ce trouble, se remémore Christine Gétin, elle-même mère d'un enfant TDAH. On ne parlait que d'enfants hyperactifs, ce qui ne correspond pas du tout. Parce que ce qui pose problème d'abord, ce sont des problèmes d'attention.»*

«Ils ont vraiment fait bouger les lignes», reconnaît Sara Fally. À la suite d'une saisine de l'association, des premières recommandations de la HAS, la Haute Autorité de santé, sont émises en 2014 pour aider les médecins à repérer le trouble. D'autres suivent en 2024, qui détaillent la démarche diagnostique à suivre, les interventions thérapeutiques, l'accompagnement des enfants. Sachant que depuis 2005, le trouble est reconnu en France comme handicap cognitif, ouvrant le droit à des aménagements scolaires et à des aides financières. Enseignants et parents sont incités à repérer au plus tôt les difficultés de l'enfant. Résultat, les demandes de consultation →



augmentent, comme le nombre de diagnostics posés. C'est le cas chez les filles notamment, qui développent des formes moins « bruyantes », où l'hyperactivité est moins présente, et qui passaient inaperçues il y a quelques années.

EFFET DE MODE ?

Au risque du surdiagnostic ? On en est loin, du moins en France. En 2020, une étude menée par le psychanalyste et professeur en sciences de l'éducation Sébastien Ponnou à partir des données de l'Assurance maladie calculait un taux de diagnostic de 0,3% chez les enfants. Loin de la prévalence de 5%. « *Il n'y a pas de surdiagnostic, non. On a encore du mal à trouver des gens qui posent des diagnostics* », affirme Sara Fally. « *Il y a encore dans de très nombreuses régions des difficultés d'accès à des prises en charge* », corrobore Hugo Peyre.

La question du surdiagnostic se pose en revanche Outre-Atlantique, où les chiffres, qui atteignaient 10,5% d'enfants en 2022, interrogent. D'une manière générale, les estimations varient grandement d'un pays à l'autre : tout dépend du stade de reconnaissance du trouble, de l'organisation du système de santé... « *Même aux États-Unis, la différence entre certains États est énorme* », remarque Matthew Smith.

Et puis il n'y a pas que les enfants. De plus en plus de diagnostics concernent aujourd'hui les adultes. En France, l'effet est net : « *Si on prend le nombre de diagnostics posés, clairement*

il y a une augmentation massive chez l'adulte ; chez l'enfant beaucoup moins », rapporte Sébastien Weibel. Une tendance que confirme Christine Gétin : « *Nous avons reçu 12000 courriers en 2025. 60% des demandes concernaient des adultes.* »

Effet de mode ? Pas seulement. En fait cela s'explique assez bien : les recherches des dernières décennies, menées avec des cohortes de jumeaux ou des analyses génétiques à grande échelle, ont révélé que le TDAH avait une origine génétique. Des centaines de variants sont associées au trouble. Et il est héritable à 74%. Ce qui signifie que si un couple a un enfant TDAH, l'un ou l'autre des parents a un fort risque d'avoir aussi le trouble, souvent sans le savoir. « *C'était vraiment une maladie pédiatrique à la base, se souvient Philippe Robaey. Mais en parlant avec les parents, on s'est aperçu que beaucoup répondaient aux critères également.* » Rien d'étonnant : il est rare qu'un TDAH disparaisse ; les études de suivi montrent qu'il persiste à l'âge adulte chez deux tiers des individus.

GÈNES, POLLUTION, MODE DE VIE

Mais attention, cela ne signifie pas que le trouble est déterminé génétiquement. Les porteurs de ces variants sont simplement plus susceptibles de le développer s'ils rencontrent certains facteurs environnementaux. « *C'est comme si les variants à risque amplifiaient l'effet de l'environnement* », résume le psychiatre. Car ce que la recherche a clairement

Une étude pointe l'effet des nanoplastiques sur le cerveau des souris, et un lien possible avec le TDAH.

2025

Une étude menée par Samson Nivins à l'Institut Karolinska, en Suède, montre que la consommation de réseaux sociaux augmente spécifiquement les symptômes d'inattention.

2026



mis en évidence ces dernières années, c'est que le TDAH est un trouble du neurodéveloppement. Chez le fœtus, puis le jeune enfant porteur de variants génétiques à risque, certains polluants, certains contextes vont venir légèrement perturber le développement du cerveau: le cortex met un peu plus de temps à maturer, le circuit de la récompense, la connectivité cérébrale, la neurochimie sont un peu modifiés –la transmission de dopamine, un messenger clé de la motivation et de l'attention, est légèrement dérégulée–, d'où l'efficacité des stimulants qui agissent précisément sur cette transmission.

«Nous ne pouvons pas affirmer avec certitude pourquoi le cerveau des personnes atteintes de TDAH est différent. Les différences sont très minimales par rapport à ce que l'on pourrait appeler un cerveau neurotypique. Cela suffit néanmoins pour affecter les capacités de régulation, détaille Stephen Faraone. Une personne atteinte de TDAH a du mal à autoréguler ses comportements, sa cognition, ses émotions.»

Ainsi, les facteurs qui pourraient jouer sont multiples: polluants chimiques –plomb, pesticides, phtalates...–, exposition au tabagisme passif ou à certains médicaments pendant la grossesse, prématurité, stress, traumatisme... En 2025, une étude a aussi pointé l'effet délétère des nanoplastiques: en exposant des souris à cette pollution pendant toute leur vie, les chercheurs ont constaté qu'elles développaient des symptômes de type TDAH. «On a vu de l'hyperactivité, de la prise

de risque, des problèmes d'apprentissage, liste Anaïs Vignon, à l'Institut des neurosciences de Montpellier. On a aussi vu des modifications dans certaines régions du cerveau qui sont affectées chez les personnes ayant un TDAH.»

C'EST EMBROUILLÉ

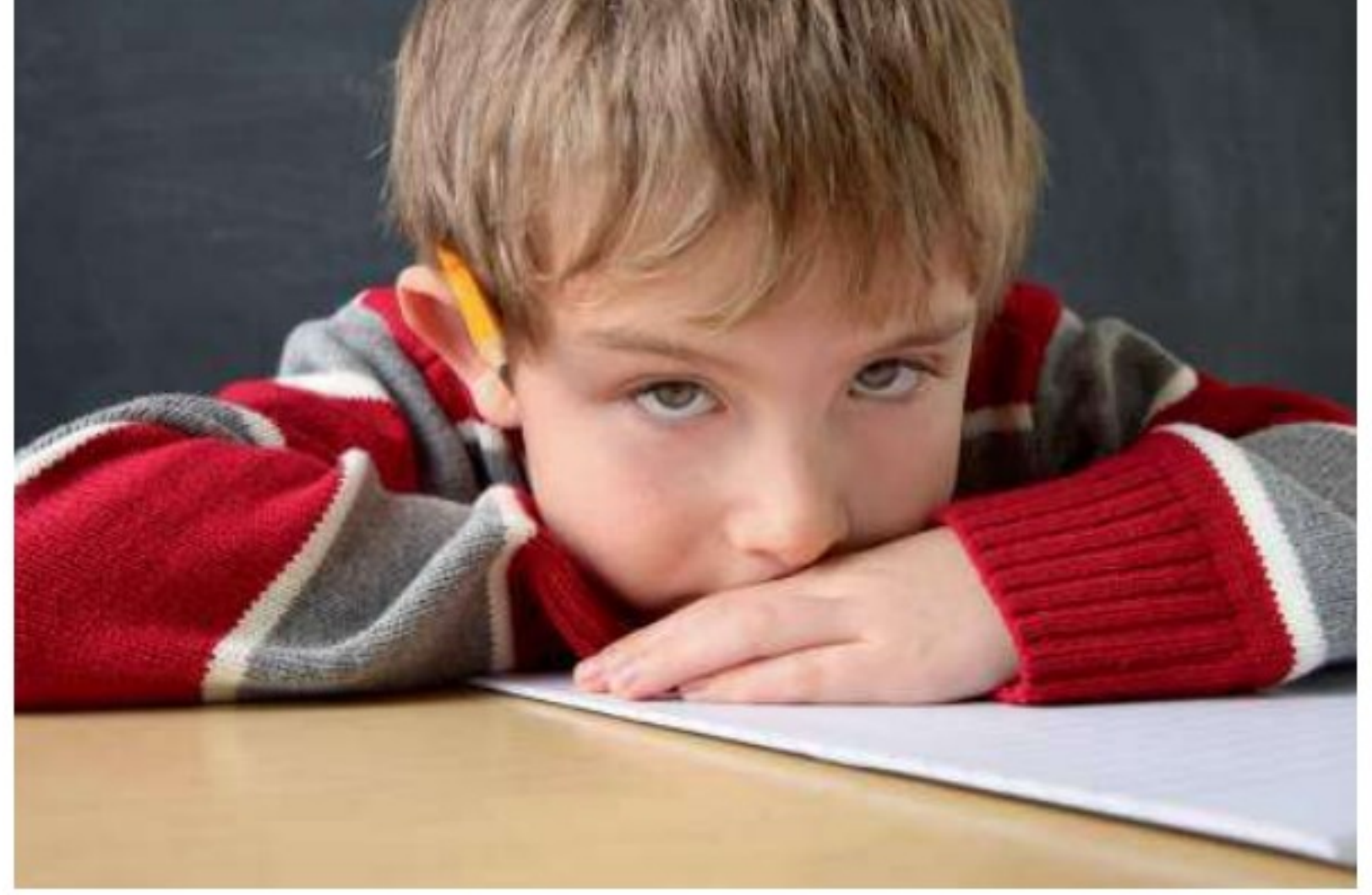
Impossible cependant d'asséner des certitudes, les facteurs sont trop nombreux, embrouillés. «Les niveaux de preuve scientifique dont on dispose pour l'instant ne permettent pas de façon certaine d'établir des liens de causalité, admet Cédric Galéra. Pour autant, il y a une réelle augmentation du risque environnemental au sens large, avec beaucoup de polluants émergents, et une plausibilité biologique à penser que cela altère le neurodéveloppement.» «Chaque individu va avoir une combinaison singulière de facteurs génétiques et environnementaux, qui va aboutir à différentes présentations du trouble, résume Hugo Peyre. Au niveau individuel, on a du mal à répondre précisément à la question: "Qu'est-ce qui est la cause pour cet enfant?"» D'autant qu'il n'y a pas que la pollution. Les modes de vie aussi ont changé ces dernières décennies. «On vit dans un monde plus compliqué qui réclame de plus en plus d'attention, de fonctions exécutives, de capacités de planification, d'organisation, juge Philippe Robaey. Vous avez des individus qui, il y a 40 ans, n'étaient pas dans les 2,5% ou les 5%. Et qui le sont aujourd'hui.» →

Et puis il y a l'omniprésence des écrans, d'Internet... Autant d'éléments qui pourraient révéler davantage le trouble. *«L'environnement dans lequel on vit est quand même très défavorable pour des personnes qui ont une attention plus vulnérable, pense ainsi Sébastien Weibel. Il y a une surcharge informationnelle, les mails, les réseaux sociaux, la connexion permanente... C'est un changement sociétal massif, dont l'effet est difficilement mesurable, car nous sommes tous exposés, dans tous les pays du monde.»* Une étude publiée en début d'année, menée par Samson Nivins, à l'Institut Karolinska, en Suède, renforce cette intuition: elle montre que la consommation de réseaux sociaux augmente spécifiquement les difficultés d'attention, et que cette corrélation est unidirectionnelle. Ce sont bien les réseaux sociaux qui augmentent l'inattention et non l'inverse (les enfants plus inattentifs qui seraient plus susceptibles de passer du temps sur les réseaux). *«Nous pensons que c'est causal»,* précise le chercheur.

PRESSION SCOLAIRE

Mais il y a aussi l'éducation: dans les familles, dans les écoles... Quelque chose pourrait-il avoir changé, qui provoque une multiplication des diagnostics? Cette influence de la culture scolaire, l'historien de la santé Matthew Smith l'a étudiée pour les États-Unis. À la fin des années 1950, retrace-t-il, le système éducatif américain a abandonné l'éducation progressiste – initiée par le réformateur John Dewey dans les années 1920 –, qui prônait un apprentissage centré sur l'enfant, valorisait la découverte et le respect du rythme de chacun, au profit d'une approche plus rigide. *«La pression sur le système éducatif s'est accrue. Plutôt que d'adopter une approche permettant aux élèves d'être plus actifs, de se déplacer davantage dans la classe, on a mis en place un système beaucoup plus centré sur les matières et sur les enseignants, avec des objectifs clairs que les enfants devaient atteindre»,* détaille-t-il. Les élèves ayant du mal à répondre à ces nouvelles attentes, hyperactifs, impulsifs, inattentifs ont été les premiers, affirme-t-il, à être diagnostiqués avec un TDAH – ou plutôt, puisque le terme n'existait pas à l'époque, avec un «trouble impulsif hyperkinétique». Avant cette date, *«les enfants comme ça n'étaient pas considérés comme un problème»*. L'historien va même jusqu'à remettre en cause l'idée que le trouble serait une réalité médicale universelle. Selon lui, le TDAH serait en grande partie une construction sociale.

C'est là qu'intervient une notion clé, seule à même, peut-être, de dénouer les controverses: celle de «retentissement fonctionnel». Pour qu'un diagnostic soit posé, il faut certes que les symptômes soient présents, qu'ils ne soient pas mieux expliqués par un autre trouble, mais aussi et surtout, qu'il y ait des difficultés à l'école, dans la famille, au quotidien... *«C'est*



L'INADAPTATION À LA SOCIÉTÉ, LE DÉSACCORD ENTRE LA DEMANDE ET LA CAPACITÉ, C'EST LA DÉFINITION DU TDAH

exactement la définition du TDAH: l'inadaptation à la société. Il y a toute une série de critères, mais ce qui est dit et répété, c'est qu'il faut que ce critère soit inapproprié sur le plan du développement, et il faut que ça ait un impact fonctionnel. C'est-à-dire qu'il y ait une sorte de désaccord entre la demande et la capacité. Le TDAH naît de ça. C'est pour ça que ce trouble, comme n'importe quel trouble psychiatrique, ne peut pas être diagnostiqué à partir d'une check-list où vous cochez des cases. On se demande toujours: "C'est quoi la conséquence de ce problème-là dans la vie de tous les jours?" S'il n'y a pas de conséquence, il n'a pas de trouble», explique Philippe Robaey. En somme le TDAH est toujours présent, mais son expression varie selon les contextes, résume Stephen Faraone: *«Comme les exigences environnementales fluctuent, cela entraîne des changements dans l'intensité des symptômes.»*

La pression scolaire s'est-elle accrue aussi en France ces dernières décennies, compliquant les capacités d'autorégulation des enfants TDAH? La psychologue Sara Fally le pense. Et regrette que les formations pour les enseignants prévues dans la stratégie nationale 2023-2027 tardent à se mettre en place. *«Il y a une grande demande du côté des profs. Parce qu'on ne va pas se leurrer, j'ai été enseignante pendant 25 ans, c'est quand même parfois un défi d'avoir ces enfants en classe. La semaine dernière, j'ai été appelée par un syndicat pour faire une présentation avec une pédopsychiatre. Il y a eu 750 demandes. La salle était pleine, il y avait 400 personnes.»*

NOS SOURCES

A. N. Vignon et al., *J. Hazard. Mater.* (2025); S. Nivins et al., *Sci. Rep.* (2024); S. Ponou, *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique* (2022); S. Faraone et al., *Neurosci. Biobehav. Rev.* (2021)). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonoon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilonoon*.

POP, SCIENCE



AOÛT 2026

« LE BUT UNIQUE
DE LA SCIENCE,
C'EST L'HONNEUR
DE L'ESPRIT
HUMAIN »

CHARLES GUSTAVE
JACOB JACOBI

Les chênes isolés ont moins de glands

PNAS, 2026

Onze années de suivi du chêne blanc *Quercus lobata* dans le paysage plat et fragmenté de la vallée centrale de Californie en témoignent : ceux qui n'ont pas de congénère dans un rayon d'environ 200 mètres produisent moins de glands que ceux qui ont de la famille à proximité. « C'est un fait, les arbres isolés ont un moindre succès reproducteur », résume l'écologue Walter Koenig, à l'université de Californie. « Il existe pourtant des preuves

solides indiquant que les fleurs femelles des chênes peuvent être pollinisées par des fleurs mâles situées à plusieurs kilomètres de distance », s'étonne Ian Pearse, premier auteur de l'étude au centre scientifique de Fort Collins. A.P.

Les tout petits diamants sont un peu mous

Physical Review X, 2026

Une équipe chinoise de l'Institut de physique des solides a comprimé des diamants de 4 à 13 nanomètres sous un microscope électronique : ils se sont ramollis. Selon les chercheurs, plus le diamant est petit, plus les liaisons entre les atomes de surface et ceux du noyau s'affaiblissent et agissent comme un amortisseur. L.V.

SOMMAIRE

85

FUN FACTS

Chênes, diamants, langoustines, caresses, mont Fuji, constante de gravitation G, jazz, essai nucléaire, dé...

88

CULTURE SCIENCE

Éclipse, le grand spectacle scientifique

90

INSTANT GEEK

Un robot hyper-symétrique ; un duvet en graphène ; du bois qui isole du feu ; un taxi pour avion ; la semelle sensorielle ; un traceur en temps réel...

94

LIFE

S'autocensurer, marcher plus de 10000 pas, sentir la testostérone, faire la grasse matinée, tomber amoureux deux fois et parler de tout et de rien.

96

Dans la machine

Les articles auxquels vous avez échappé.

SHUTTERSTOCK

Les langoustines sont sensibles à l'aspirine

Nature, 2026

« On a filmé 105 crustacés pendant 15 min afin d'établir un comportement de référence, puis on a administré à 60 d'entre eux des analgésiques, une heure avant de leur envoyer un choc électrique, en les filmant à trois reprises : immédiatement après la décharge, une heure, puis deux heures après », décrit

Eleftherios Kasiouras, biologiste marin à l'université de Gothenburg, en Suède. Résultat : les langoustines qui avaient reçu de l'aspirine ou de la lidocaïne n'ont pas manifesté de forts comportements de fuite au moment de la décharge, contrairement à celles qui n'avaient rien reçu. « Cela indique que ces deux médicaments ont été effi-

caces », conclut le spécialiste de la douleur animale. Sachant que contrairement à la lidocaïne, l'aspirine provoque des effets secondaires tels qu'une augmentation du comportement de toilettage et de grattage, une perturbation de l'activité neuronale et une élévation du niveau de stress. **G.A.**



6,67387 X 10⁻¹¹ M³ KG⁻¹S⁻²

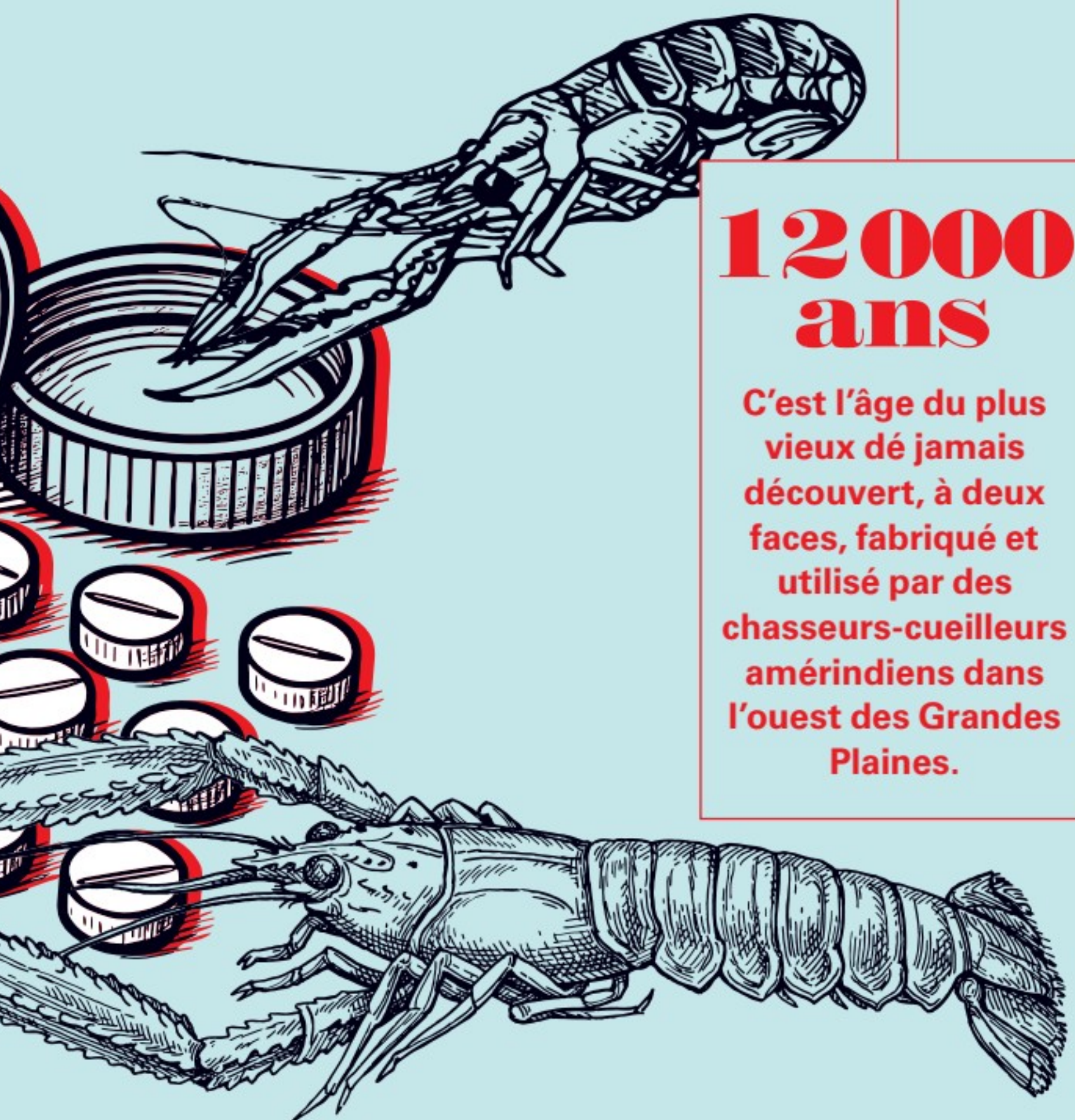
C'est la valeur de la constante de gravitation G qui vient d'être mesurée avec une balance de torsion – c'est un peu moins que la valeur officielle, mais cela reste dans la marge d'erreur.



Le jazz est de moins en moins complexe

Scientific Reports, 2026

« Nous avons analysé environ mille partitions de jazz écrites depuis le début du XX^e siècle en nous concentrant sur leurs transitions mélodiques et harmoniques », explique Niccolo Di Marco, chercheur en sciences des réseaux à l'université de Viterbe, en Italie. Qui pointe une baisse « d'entropie moyenne des nœuds » et « d'efficacité pondérée ». Autrement dit, les compositions se simplifient, s'homogénéisent, avec des séquences de notes de plus en plus répétitives et des variations mélodiques plus limitées – au point de s'approcher de la complexité toute relative de la musique pop ou du rock. **V.N.**



Le premier essai nucléaire a créé un nouveau cristal

Les lynx trempent leur proie dans l'eau

481 M

Les poussins aiment les caresses

Le mont Fuji grandit avec la pluie



Éclipse Le grand spectacle scientifique

Le 12 août, le Soleil a rendez-vous avec la Lune. L'éclipse promet d'être spectaculaire, avec une occultation à plus de 90% en France. Nous voilà à nouveau face au phénomène qui a modelé toutes les cultures humaines.

En Chine, c'était un dragon qui dévorait le Soleil, on battait des tambours pour effrayer la bête; pour les Incas, c'était la manifestation du courroux divin, il fallait un sacrifice pour l'apaiser. « *Les récits célestes ont une grande importance, ils sont surreprésentés dans les mythes. Et parmi eux, ceux liés aux éclipses se distinguent, pose Marc Thuillard, chercheur indépendant, spécialiste de l'analyse des mythes. Ce qui frappe, c'est le lien avec la violence. Soit le Soleil et la Lune sont des personnes ou des dieux qui se disputent –et le Soleil gagne. Soit c'est l'attaque d'un grand prédateur: un tigre en Inde, un ours en Amérique du Nord, un crocodile en Afrique –il peut aussi y avoir des animaux moins agressifs, une baleine, une*

grenouille, des fourmis qui vont dévorer la Lune ou le Soleil. » En réaction, on fait du bruit, on frappe des objets, on déclenche des « vacheries », décrit l'anthropologue Claude Lévi-Strauss, dans le but « d'effrayer, pour le mettre en fuite, l'animal ou le monstre prêt à dévorer le corps céleste ». « *Au fil du temps, les connaissances astronomiques évoluent, reprend Marc Thuillard. Et dans certains mythes liés aux éclipses, on peut en suivre l'influence sur près de 2000 ans.* » Qu'en reste-t-il aujourd'hui, où plus personne n'invoque la présence d'une baleine dans le ciel? Peut-être plus qu'on ne le croit, répond l'économiste Éric Roca Fernández, chercheur à l'université Clermont-Auvergne, qui s'est intéressé aux éclipses un peu par hasard, en cherchant un moyen



OBSERVER L'ÉCLIPSE

QUAND ?

Le 12 août 2026, à partir de 19h20

OÙ ?

Partout en France métropolitaine. L'éclipse sera plus complète dans le Sud-Ouest de la France (99% d'obscurité dans les Pyrénées-Atlantiques, 90% dans le Bas-Rhin).

EN PRATIQUE

N'oubliez pas les lunettes de protection. Cherchez une vue dégagée vers l'ouest: le Soleil sera seulement 5° au-dessus de l'horizon à Toulouse; 7,5° à Paris et 11,5° à Brest.

d'étudier le développement de la curiosité humaine. « *La curiosité est l'un des possibles déterminants du développement du capital humain dans les sociétés prémodernes, précise-t-il. C'est une impulsion vers une meilleure compréhension, un moteur de développement. Or les éclipses en sont l'un des déclencheurs.* » C'est ce que montre son étude, publiée en 2024: le chercheur a épluché les données de centaines de cultures anciennes, les densités de population, les stratifications sociales... et conclu à une corrélation: les sociétés



qui ont vu des éclipses ont une croissance plus importante, une pensée plus approfondie, une plus grande complexité technologique. Jusqu'aux individus: « À partir de la base de données Wikidata de l'Antiquité à 1800, nous avons montré que les personnes qui ont vu une éclipse entre 5 et 15 ans ont une probabilité plus forte d'avoir un travail scientifique ! C'est valable au niveau anthropologique, social et individuel, les éclipses sont un choc de curiosité. » Elles ont participé à faire de nous ce que nous sommes.

Une émotion terrible

« De tous les phénomènes astronomiques, il en est peu qui aient autant frappé l'imagination humaine que les éclipses totales de Soleil », écrivait Camille Flammarion en 1879, dans son *Astronomie populaire*. « À l'heure prédite par l'astronome, on voit le disque brillant du Soleil s'entamer vers l'Occident [...], la lumière du jour diminue; de toutes parts, une clarté sinistre et blafarde remplace la brillante lumière qui réjouissait la nature, et une immense tristesse descend sur le monde. »

AGENDA



LIVRE

Mysteriosa

Une chasse au trésor en 11 énigmes de science et de culture pour trouver une sphère d'or remplie de diamants.

Depuis le 5 juin en librairie

Éditions du Trésor, 120 p., 24 €

THÉÂTRE

La Zone indigo

IA, Amoc, deadbot... La pièce de Mélodie Mourey aborde de façon trépidante et touchante tout un tas de thèmes chers à la rédaction.

Jusqu'au 1^{er} novembre

Théâtre des Béliers, Paris, 40 €

EXPO

Sur les traces

des dinosaures

Une immersion alléchante dans les sites paléontologiques français, les plus grands gisements de dinos d'Europe.

À partir du 16 juillet

Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 14 €

FILM

Kyma, l'onde mystérieuse

Une créature sonore capable de briser la matière. Un film fantastique familial... avec un joli clin d'œil à *Epsilon*!

Le 5 août en salle

Par Romain Daudet-Jahan, 1 h 30

LIVRE

Alexandre Grothendieck,

le roman d'une vie

Un récit lyrique, poétique, mathématique, métaphysique sur un penseur hors norme. Profond et émouvant.

Le 26 août en librairie

Par Pierre Lochak, éd. Odile Jacob, 320 p., 24 €

Le robot hyper- symétrique

Il a 20 pattes dotées de 20 caméras qui regardent à 360°, et quand il roule, ses déplacements omnidirectionnels sont hyperagiles. Argus a été mis au point par des ingénieurs de l'université Duke, en Caroline du Nord, qui, avant d'arriver à cette forme de boule idéale, ont simulé mille autres architectures possibles. Ce qui les a convaincus: une structure symétrique est du point de vue de la morphologie et des déplacements plus efficace pour fabriquer des robots résistants sur des terrains accidentés, y compris extraterrestres.

Les ingénieurs hongkongais de Graphene-X l'ont baptisé «tardigrade», en référence à ce petit animal hors du commun qui résiste jusqu'à -270°C. Plus modestement, ce sac de couchage tient au chaud jusqu'à -10° C dans sa version trois saisons et -30°C dans sa version hiver. Son atout: une fibre en polyester qui intègre du graphène, pour la légèreté (1,4 et 1,9 kg) et la conductivité de la chaleur, ainsi qu'un aérogel, pour une bonne isolation. Les deux bras du duvet se dézippent pour se mouvoir sans se refroidir.

Un duvet en graphène et aérogel



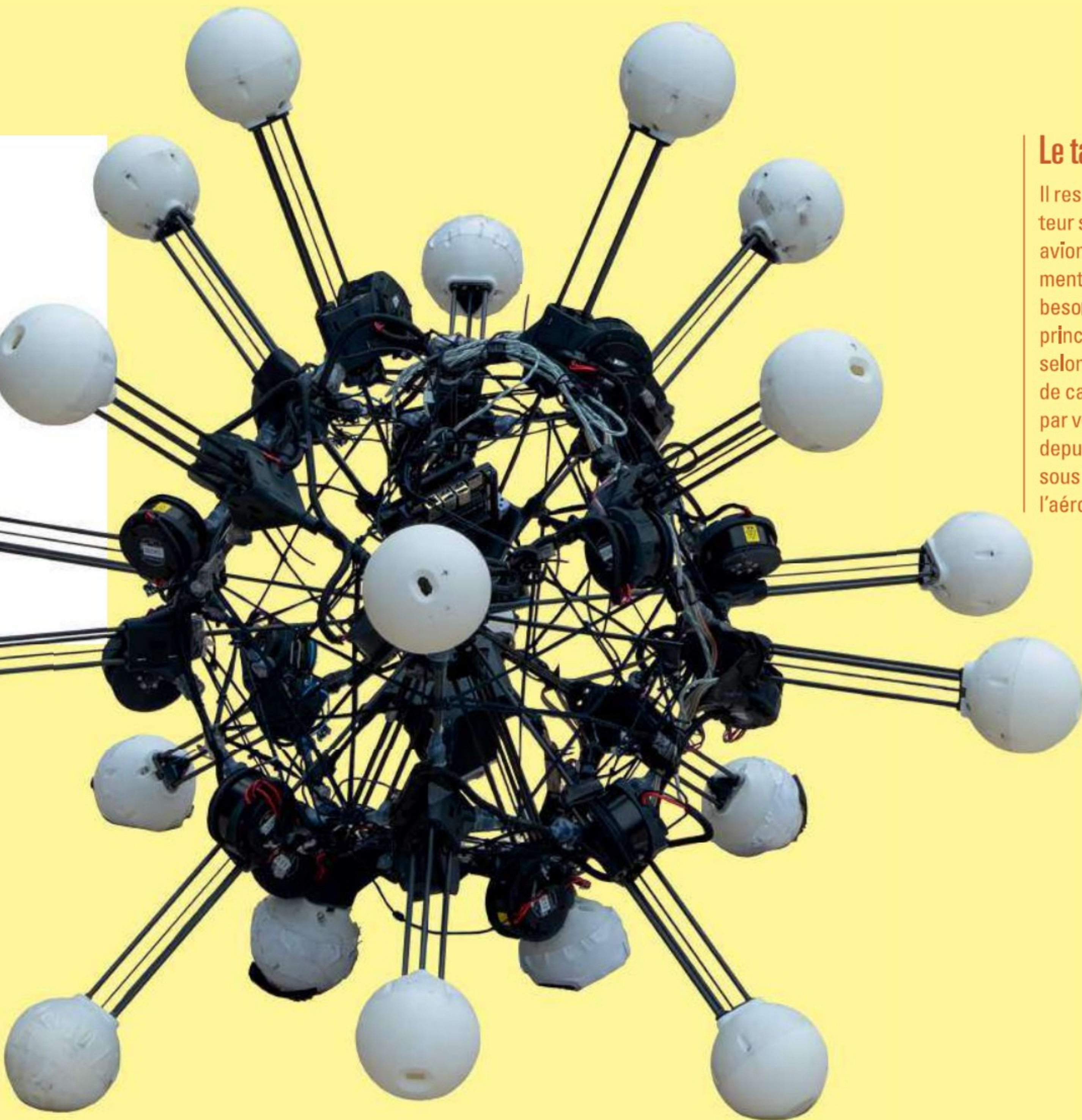
La mentonnière connectée

« On m'a diagnostiqué un bruxisme, je grinçais des dents sans m'en rendre compte, surtout la nuit », explique Charles Collinot, cofondateur de Bruxless. Cette start-up a développé une mentonnière qui détecte en temps

réel l'activité de la mâchoire et envoie au cerveau un signal, sous forme de vibrations, pour qu'il commande aux muscles de se relâcher. De quoi soulager, et peut-être désapprendre ce serrement de dents qui touche près d'une personne sur 4 dans le monde. En vente, l'appareil attend sa certification médicale.

Des panneaux solaires ultramincés

Ces cellules en pérovskite quasi transparente ne font que 10 nanomètres d'épaisseur. Avec une efficacité de seulement 7% (contre 20-25% pour un panneau standard)... Mais elles pourront s'intégrer aux fenêtres.



Le taxi pour avion

Il ressemble à une sorte de tracteur semi-robotisé et déplace les avions de la porte d'embarquement à la piste sans qu'ils aient besoin d'allumer leurs réacteurs principaux. De quoi économiser, selon Easyjet, en moyenne 95 kg de carburant et 300 kg de CO₂ par vol et réduire le bruit. En test depuis mars, il va être utilisé sous peu pour quatre Airbus de l'aéroport d'Amsterdam.

Du bois qui isole du feu

Oui, c'est un peu contre-intuitif. Des chercheurs suisses ont comprimé de la sciure de bois avec un liant minéral, le struvite, et des extraits de pastèque, pour fabriquer des plaques difficilement inflammables. Exposées à une température de 900°C, elles maintiennent leur face arrière à 30°C pendant plus de 5 min. Un nouveau matériau qui permettrait, en prime, de recycler la sciure.



Le calculateur à photons

Dans la famille des ordinateurs quantiques, voici Lucy. Sa technologie s'appuie sur des photons, ce qui permet d'utiliser son processeur à température ambiante, et avec 12 qubits, c'est l'un des plus puissants de sa catégorie. Tout juste inauguré au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, il va être relié à un supercalculateur pour réaliser des calculs hybrides et tester, par exemple, des algorithmes quantiques.

L'appareil photo qui développe aussi

Le designer britannique Dave Faulkner revisite les premiers appareils photos des années 1880 en version miniature, qui tient dans la main. Sa Boxx permet non seulement de prendre des photos avec un système d'objectifs interchangeable, mais aussi de les développer en noir et blanc, grâce à une chambre noire intégrée. Elle est actuellement en prévente.



Un nez artificiel pour le frigo

Il a la forme d'une puce électronique classique. À l'intérieur, ce sont de fins nanotubes de carbone qui jouent le rôle de capteurs et lui permettent de détecter les gaz émis par 16 aliments, y compris avariés, avec une

précision de 92,6%, dicit l'équipe de l'université de Berkeley qui l'a mis au point. Beaucoup mieux que le nez humain ou les précédents modèles développés. Il peut également détecter la présence d'allergènes. Installé dans un réfrigérateur, il pourrait donc prévenir intoxications alimentaires et gaspillages.

Le traceur en temps réel

Le boîtier autonome GPS Tracker Pro Ma d'Invoxia indique sa localisation toutes les secondes, là où ce type de traceur ne le fait habituellement que toutes les minutes. Avec six mois d'autonomie, c'est un atout en cas de vol de véhicule ou de vélo.



Une semelle sensorielle

Ça n'a l'air de rien, et pourtant, c'est une véritable prouesse. Cette semelle bardée de capteurs enregistre toutes les informations liées à la marche (localisation et intensité de la pression plantaire) et les transmet par Bluetooth à des patches placés sur d'autres zones du corps, sous la forme de chaleur et de vibrations. Objectif:

aider à marcher les personnes qui ont perdu leurs sensations au niveau du pied et qui souffrent d'un problème d'équilibre après un AVC, une lésion de la moelle épinière ou

toute autre maladie affectant la sensibilité des pieds. Les premiers tests sont convainquants: ces semelles permettent de ressentir le sol, de reconstruire les informations perdues et de retrouver l'équilibre.

« Cette capacité à reproduire sur la peau des motifs complexes pourrait aussi se prêter aux jeux vidéo », imagine Matthew Flavin, du Georgia Tech Institute.



IDÉE NEUVE



Du papier de riz pour isoler de l'or

« C'est en dégustant une fondue coréenne avec du papier de riz que l'évidence m'est apparue, raconte le chimiste Jung-Hyun Lee, à l'université de Corée. Plongées dans le bouillon, les feuilles de riz se détendent et absorbent le liquide. Et j'ai pensé à utiliser ce matériau pour capter l'or en solution... »

Avec son équipe, le chercheur a d'abord fait subir au papier de riz une transformation chimique, appelée hydrazination, afin de rendre sa surface poreuse. Il l'a ensuite plongé dans l'eau avec un composé contenant de l'or — comme un processeur d'ordinateur. Et cela a marché: le papier a absorbé et fixé les ions auriques de l'eau. Il a suffi ensuite de le carboniser pour récupérer l'or pur.

« Traiter 100 tonnes de déchets électroniques par jour conduirait à un prix de vente de l'or dans la fourchette inférieure du marché. Et ceci avec 4% d'émissions de gaz à effet de serre en moins pour 1 kg d'or, comparé à un procédé conventionnel », se réjouit Jung-Hyun Lee, qui lance une étude pilote en vue d'une commercialisation. A.P.

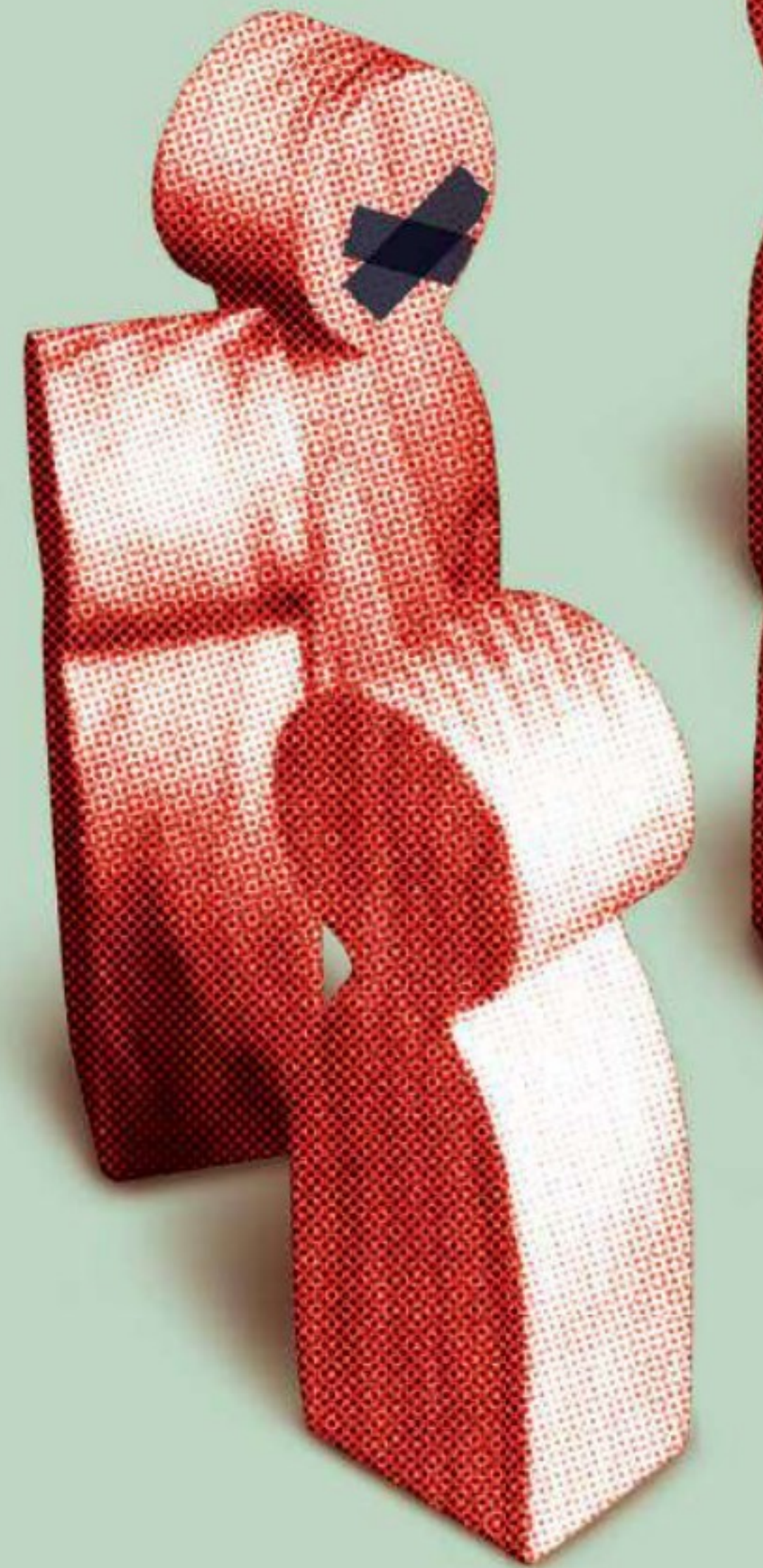
L'autocensure, ça se propage

PNAS, 2026

↙ A priori la peur serait son moteur le plus évident...
Sauf que c'est plus complexe que ça, expliquent des politologues et des informaticiens américains : l'autocensure est une réponse stratégique adaptée en fonction des situations. Pour le vérifier, ils se fondent sur un modèle à plusieurs paramètres : d'une part, chez la population, la témérité et le

désir de contestation ; d'autre part, chez l'autorité, la tolérance, la sévérité des punitions et la surveillance. Selon leurs calculs, dès que son seuil de tolérance est atteint, l'autorité se durcit et, en réaction, l'autocensure se propage rapidement — seuls les plus téméraires continuent d'exprimer leur opposition. Et si les mesures prises par les autorités deviennent vraiment

draconiennes — punitions et surveillance plus sévères —, on arrive à une autocensure totale. A contrario, l'étude montre que plus la population proteste, plus elle est prête à en subir les conséquences, et plus l'autorité a du mal à réprimer la contestation. « *Punir toute une population à la fois a un coût très élevé* », selon Joshua Daymude, à l'université d'État de l'Arizona.



Les 10 000 pas ne suffisent pas toujours

Nature communications, 2026

On s'en doute, ce nombre rond est trop simpliste et il ne vaut effectivement pas pour tout le monde, détaille une équipe américaine qui a suivi 15 000 personnes sur 13 millions de journées. Si on est très sédentaire, assis 14 h par jour, il faudra faire au moins 11 000 pas pour réduire le risque de diabète. Mais 8 000 suffisent à abaisser au minimum le risque de maladies rénales chroniques, peu importe le temps passé assis. En revanche, contre l'insuffisance cardiaque, marcher ne suffira pas à compenser les effets de la sédentarité, et cela quelle que soit la distance parcourue.

Quand on est dominant, on sent la testostérone

Evol. Hum. Behav., 2025

Drôle d'expérience : des psychologues ont demandé à 797 personnes de renifler les maillots de corps de 74 jeunes hommes pour deviner leur niveau de dominance. Et bingo ! Les pronostics correspondaient bien au taux de testostérone mesuré dans leur salive. Preuve que l'odorat sert aux humains à évaluer le statut social de leurs vis-à-vis.



Oui, les grasses matinées font du bien aux ados

Journal of Affective Disorders, 2026

C'est pendant le week-end qu'ils dorment le plus, vient de démontrer une des rares études portant sur cette classe d'âge. Son résultat l'approuve : grappiller quelques heures au lit pour rattraper le sommeil perdu les soirs de la semaine est associé à une baisse de 41 % du risque de dépression chez un échantillon de 1087 jeunes américains de 16 à 24 ans. À cet âge, l'horloge interne se décale vers la nuit et le temps de récup du week-end est bénéfique. Même si, bien sûr, l'idéal est de respecter pendant la semaine la durée de sommeil recommandée – 8 à 10 h avant 18 ans, 1 h de moins après –, et de ne pas aller se coucher trop tard : entre 21 h et 23 h 30. Le risque de dépression est alors encore deux fois plus faible montrent les chercheurs. Mais allez dire ça à des jeunes...

SHUTTERSTOCK

Il est important de parler de tout et de rien

Journal of Personality and Social Psychology, 2026

9 études auprès de 1800 Français l'illustrent : on sous-estime le plaisir qu'on tirera réellement de petites conversations de 5 minutes sur des sujets jugés a priori banals, voire un peu ennuyeux. Car, surprise, ce qui fait du bien ne tient pas au sujet dont on parle, mais à l'engagement que l'on y met. Or celui-ci est imprévisible, puisqu'il n'émerge qu'une fois qu'on a commencé à discuter.

On tombe passionnément amoureux 2 fois dans sa vie

Interpersona, 2026

En tout cas, c'est la moyenne aux États-Unis, selon une étude portant sur 10036 célibataires américains représentatifs de la population, âgés de 18 à 99 ans. Sachant que 14 % n'ont jamais connu le grand amour... et que seuls 11 % l'ont vécu 4 fois ou plus. En fait ce nombre varie très peu : il augmente légèrement avec l'âge, bien sûr, mais l'essentiel des expériences amoureuses est vécu jeune. Et si les hommes en ont un peu plus que les femmes, cela vaut uniquement chez les hétérosexuels. *«L'amour passion est commun, au sens où la plupart des gens le connaissent, mais il est peu fréquent à l'échelle individuelle»*, concluent les autrices. Qui considèrent que deux fois c'est peu...





Les articles auxquels vous avez échappé

Chaque mois, on espère, on enquête, on tergiverse, et parfois on abandonne.

Jolie découverte: **les fleurs misent sur les meilleurs pollinisateurs** ! Des biologistes de l'université de Santa Cruz, en Californie, viennent de montrer que si de nombreuses fleurs des montagnes d'Amérique centrale ont évolué pour être pollinisées par des colibris plutôt que des abeilles, c'est simplement parce que les colibris sont plus efficaces — ils transportent plus de pollen par visite. Mais pas si surprenant, c'est la chronique des évolutions végétales. Jolie aussi, cette publi qui incite à **rêver sous anesthésie pour rendre les opérations chirurgicales moins effrayantes**: «*La plupart des rêves étaient positifs, et les patients qui se souvenaient avoir rêvé ont rapporté une meilleure qualité de sommeil pendant l'anesthésie*», notent les chercheurs, qui ont conçu un protocole standardisé en 5 étapes. Mais un peu trop pointu. Alors cette révélation: **à Stonehenge, c'est un glacier qui aurait servi à transporter** le mégalithe central de près de 600 kg, qui viendrait du nord de

l'Écosse. Bon, en fait, les humains auraient quand même dû se débrouiller tout seuls pour les 400 derniers kilomètres... Et à y regarder de plus près, l'étude est loin d'être conclusive — «*les écoulements glaciaires sont particulièrement complexes dans cette région*», pointent les chercheurs... Tiens? **L'effondrement de la population de koalas est antérieur à l'arrivée des humains**. On hésite à en faire un

Fil d'actus, mais le côté auto-décupabilisation semble un peu forcé. Et sur ce credo, on se fait déjà plaisir avec les mangroves qui résistent mieux que prévu à nos activités. Alors cette étude d'une équipe internationale de biologistes qui a montré **comment les transposons ont rendu paresseux les paresseux**? Bien sûr ça nous amuse, mais on vous a déjà beaucoup parlé du potentiel évolutif de ces gènes sauteurs (dans le #9 notamment). Et que penser de cette expérience assez hallucinante: des chercheurs ont réussi à **faire repousser les doigts de souris grâce à une thérapie génique** ! Ils ont exploité les pouvoirs régénérant de gènes dérivés du poisson-zèbre, connu pour cette capacité. «*Nos résultats démontrent l'intérêt d'une approche de thérapie génique contextuelle pour traiter l'amputation*», conclut l'équipe américaine. Méfiance: ce sujet de la régénération a été très galvaudé. On va quand même regarder de plus près: on vous en reparlera peut-être. En attendant, on glisse vers les neurosciences avec **un mécanisme cérébral universel pour toutes les**

langues. Des chercheurs de l'université de New York montrent que les hispanophones et les anglophones mobilisent les mêmes aires cérébrales pour adapter les mots à leur contexte grammatical (les mettre au pluriel par exemple). «*Ce qui est passionnant, c'est que nous avons trouvé des preuves que le cerveau pourrait réutiliser le même mécanisme sous-jacent pour différentes langues, plutôt que de construire des systèmes distincts pour chacune*», écrivent-ils. Ainsi pour notre cerveau, toutes les grammaires seraient une abstraction commune? Cela résonne avec la théorie de Noam Chomsky et ses structures innées de la faculté de langage. Mais l'étude ne va pas aussi loin, on ne tient sans doute pas le bon déclencheur pour réinterroger l'origine du langage — et sa spécificité aux humains. Alors passons aux neurones artificiels: pour la première fois, **39 volontaires ont testé un vaccin conçu par une IA** — censé être efficace contre tous les coronavirus. La machine a conçu un «super-antigène» capable d'entraîner le système immunitaire de manière à offrir une protection contre cette famille de

LES ROBOTS TUEURS DÉBARQUENT !

Oh ! *New Scientist* lâche un scoop: l'hebdomadaire scientifique anglais révèle que des drones de l'armée ukrainienne ont tué sur le front «quelques» soldats russes en totale autonomie, lors d'un test réalisé il y a deux ans. C'est un haut responsable de l'industrie de défense ukrainienne qui a fait ces confidences, et qui insiste sur le fait que ce système n'a pas été déployé à grande échelle. Sachant qu'en 2021, un rapport de l'ONU avait aussi pointé de possibles premiers tirs automatisés depuis un drone lors de la guerre civile en Libye. Que faire face à ces informations fracassantes mais presque impossibles à vérifier? Nous avons largement évoqué le rôle croissant des IA dans la conduite des guerres dans une récente analyse (#58, p. 21). Nous suivons aussi de près les discussions réglementaires en cours dans les grandes instances internationales. Mais pour l'instant, nous peinons à identifier l'évènement qui ferait vraiment tout basculer.

LE MYTHE DES SUPERPRÉDATEURS

Vous connaissez peut-être la belle histoire de la réintroduction des loups dans le parc du Yellowstone au milieu des années 1990; le superprédateur avait enfin permis de réguler les populations de wapitis, dont l'appétit dévorant bloquait la régénération des peupliers trembles. Sauf que l'histoire est peut-être trop belle: un commentaire dans la revue *Forest Ecology and Management* affirme que la dernière étude sur ce phénomène «*surestime considérablement l'ampleur de cette cascade trophique en raison d'erreurs méthodologiques et d'interprétation majeures*». De quoi remettre en question tous les discours célébrant le retour des loups, lynx, pumas et autres ours scandés par les partisans du réensauvagement? Ce serait très grinçant... Bon, à la lecture de la littérature scientifique, ça ne tient pas vraiment: certes, les superprédateurs ne suffisent pas à eux seuls à rééquilibrer tout un écosystème, mais quand même, ces grands carnivores ont un impact vertueux sur la diversité végétale, comme l'a montré par exemple une étude de 2025 en Colombie-Britannique. Les quatre auteurs du commentaire assassin reconnaissent eux-mêmes que le loup a provoqué une cascade d'effets au Yellowstone, bien que plus subtile. On reste quand même à l'affût.



« La dernière étude surestime considérablement l'ampleur de cette cascade trophique en raison d'erreurs méthodologiques et d'interprétation majeures »

virus. Impressionnant, mais ces tests sont encore très préliminaires (phase 1) et l'efficacité du vaccin semble «modeste et variable». Et puis, on vous a déjà beaucoup parlé d'IA ce mois-ci.

Et voilà qu'un titre attire notre attention: **une matière**

étrange est découverte sur Pluton et Titan, la grosse

lune de Saturne. On imagine aussitôt tout un tas de choses fantastiques! Bon, les données collectées par le télescope James-Webb montrent juste une étrange bande d'absorption de la lumière par la surface de ces deux petits mondes; on soupçonne une forme particulière de glace; aucune des compositions testées par les astrophysiciens ne correspond. On attend la résolution du mystère pour, éventuellement, vous en reparler.

Sinon, la saga continue: **l'astéroïde qui a tué les dinos n'est pas à l'origine de l'expansion des plantes à fleurs**. Pour une fois, les paléobotanistes limitent la portée du choc: ces plantes «*formaient déjà des forêts denses*», assure l'auteur principal. On pourrait vous parler tous les mois de cette bombe qui a frappé la Terre il y a 66 millions d'années —on a même tourné autour d'un article pour notre futur hors-série (confiance: nous avons choisi le mot «hasard»).

Bon, allez, détendons-nous avec le combat des animaux de la rubrique Fun Facts —on en a toujours trop. Nous ne vous parlerons pas du fait que **les saumons sous cocaïne nagent deux fois plus loin**, ni que **les tortues ont un sens de l'orientation approximatif**, ni que **les papillons mangeurs de pollen vivent très vieux**. Si vous voulez en savoir plus sur tous ces non-articles, nous avons mis les sources en ligne.

« Les simulations pointent sur un corps de la taille de Mars arrivant avec un angle de 45° »

Cédric Gillman,
à propos de Vénus
p. 13

« Un El Niño très fort agit comme un choc mondial asymétrique : ce sont les régions déjà vulnérables de la planète qui sont le plus durement touchées »

David Laborde,
à propos du super El Niño
p. 27

« On parlait beaucoup de ces enfants-là dans les livres pour enfants, on les appelait "touche-à-tout", "Sidonie la petite sans soin" »

Christine Gétin,
à propos du TDAH
p. 79

« Le message, c'est : "Mon modèle est meilleur que celui des concurrents, parce qu'il est meilleur en maths" »

Amaury Hayat,
à propos de l'IA
p. 46

« Les études sont publiées tous azimuts, nous avons même du mal à suivre toutes les actualités du secteur ! »

Robert Ferl,
à propos de l'extrême survivor
p. 68

« Des opportunités énormes s'ouvrent devant nous. On va pouvoir passer dans un autre monde »

Paolo Bortoletti,
à propos du magnon
p. 64

« Non, la chaleur ne rend pas agressif »

Alessandra Cassar,
à propos de la violence
p. 31

« Je me demande parfois si faire des mathématiques "à l'ancienne" ne va pas à long terme devenir une activité du dimanche »

Sylvia Serfaty,
à propos de l'IA
p. 50

« C'est en dégustant une fondue coréenne avec du papier de riz que l'évidence m'est apparue »

Jung-Hyun Lee,
à propos de l'isolation de l'or
p. 93

« Offrir cette nouvelle classe de médicaments relève d'une dimension éthique, compassionnelle »

Nicolas Authier,
à propos du cannabis médical
p. 32

« Nous avons analysé environ mille partitions de jazz écrites depuis le début du XX^e siècle »

Niccolo Di Marco,
à propos des compositions de jazz
p. 86

« Le Soleil et la Lune sont des personnes qui se disputent – et le Soleil gagne »

Marc Thuillard,
à propos des éclipses
p. 88

« Ces signes ne sont pas placés au hasard. Il y a un système, avec ses conventions »

Christian Bentz,
à propos de la première écriture
p. 74

• Les 105 scientifiques interrogés par la rédaction pour ce numéro

George Adamson
Géographe, Royaume-Uni
Christoph Adelman
Physicien, Belgique
Luigi Ambrosio
Mathématicien, Italie
Weston Anderson
Climatologue, États-Unis
Jessica Atkin
Botaniste, États-Unis
Nicolas Authier
Psychiatre, Clermont-Ferrand
Chen Azulay
Expert biomédical, Israël
Christian Bentz
Linguiste, Allemagne
Arnaud Bertrand
Biologiste marin, Sète
Paulo Bittencourt
Écologiste spécialiste des plantes tropicales, Royaume-Uni
Marie-Anne Bizouard
Astrophysicienne, Nice
Thomas Bloom
Mathématicien, Royaume-Uni
Dominique Bocquellée-Morvan
Astrophysicienne, Paris

Paolo Bortolotti
Ingénieur spintronique, Saclay
Alba Bossoms Mesa
Anthropologue, Allemagne
Julien Boucharel
Océanographe, Nouméa
Dmytro Bozhko
Physicien, États-Unis
Annalisa Bruno
Physicienne, Singapour
Wenju Cai
Climatologue, Chine
Mark Cane
Paléoclimatologue, États-Unis
Eugénie Carnero-Díaz
Botaniste, Paris
Alessandra Cassar
Économiste, États-Unis
Richard Choularton
Spécialiste des crises alimentaires, Italie
Carie Cuttler
Psychologue, États-Unis
Grégoire De Loubens
Physicien, Gif-sur-Yvette
Mélanie Decourteix-Volle
Biologiste, Clermont-Ferrand
Thibault Devolder
Physicien, Orsay

Niccolo Di Marco
Chercheur en sciences des réseaux, Italie
Gilles Dufrénot
Économiste, Marseille
Francesca Duncan
Biologiste de la reproduction, États-Unis
Ewa Dutkiewicz
Archéologue, Allemagne
Maxime Efoui-Hess
Ingénieur, Paris
Muhammad Azhar Ehsan
Climatologue, États-Unis
David Ekchajzer
Expert en sciences de l'ingénieur, Paris
Stephen Faraone
Neuroscientifique, États-Unis
Robert Ferl
Botaniste, États-Unis
Matthew Flavin
Chercheur en électronique, États-Unis
Séverine Fournier
Océanographe, États-Unis
Noah Fritzhand
Chercheur en sécurité climatique, États-Unis

Tomomichi Fujita
Botaniste, Japon
Cédric Galéra
Épidémiologiste, Bordeaux
Alexandre Gefen
Philosophe, Paris
Borjan Geshkovski
Mathématicien, Paris
Cédric Gillman
Planétologue, Suisse
Jodi Gilman
Psychologue, États-Unis
Felipe Gómez
Exobiologiste, Espagne
Eric Guilyardi
Océanographe, Paris
Madhulika Gurazada
Climatologue spécialiste de l'agriculture, États-Unis
Laura Melissa Guzman
Entomologiste, États-Unis
Amaury Hayat
Mathématicien, Paris
Cullen Hendrix
Politologue spécialiste des conflits et du climat, États-Unis
Marie Jauffrey Roustide
Sociologue, Paris

Jean-Michel Kantor
Historien des mathématiques, Paris
Eleftherios Kasiouras
Biologiste marin, Suède
Walter Koenig
Écologue, États-Unis
Michelle L'Heureux
Chercheuse en psychiatrie expérimentale, Tours
Ben Lecorps
Vétérinaire, Royaume-Uni
Dirk Leder
Archéologue, Allemagne
Jung-Hyun Lee
Chimiste, Corée du Sud
Valérie Legué
Botaniste, Clermont-Ferrand
Tian Li
Spécialiste en télédétection, États-Unis
Anne-Laure Ligozat
Chercheuse sur les impacts environnementaux du numérique, Paris
I-I Lin
Climatologue et océanographe, Taïwan

Olli Loukola
Éthologue, Finlande
Ruairidh Macleod
Généticien, Royaume-Uni
Giovannis Marsicano
Neuroscientifique, Bordeaux
Parick Massot
Mathématicien, Orsay
Lennart Meincke
Informaticien, États-Unis
Pierre-Michel Menger
Sociologue, Paris
Julie Merrer
Chercheuse en psychiatrie expérimentale, Tours
Troy Miller
Biologiste moléculaire, Australie
Wilfran Moufouma-Okia
Climatologue, Suisse
Samson Nivins
Chercheur en neurologie périnatale et pédiatrique, Suède
Jean-Philippe Nominé
Informaticien, Paris
Silvano Onofri
Botaniste, Italie
Fabien Pazuki
Mathématicien, Danemark

Ian Pearse
Écologue, États-Unis
Hugo Peyre
Pédopsychiatre, Montpellier
Guillaume Porraz
Archéologue, Aix-en-Provence
Lucie Poulet
Biologiste, Clermont-Ferrand
Gonzalo Quiroga-Artigas
Biologiste, Montpellier
Rajyaguru Rajyaguru
Biochimiste, Inde
Jean-Michel Revest
Neuroscientifique, Bordeaux
Philippe Robaey
Psychiatre, Canada
Eric Roca Fernandez
Économiste, Clermont-Ferrand
Jacques Sainte-Marie
Mathématicien, Paris
Will Sawin
Mathématicien, États-Unis
Thorsten Schumm
Physicien atomique, Autriche
Sylvia Serfaty
Mathématicienne, États-Unis
Deepti Singh
Climatologue, États-Unis

Kaja Skubala
Écologue, Pologne
Matthew Smith
Historien de la santé, Royaume-Uni
Diaaeldin Taa
Mathématicien, Allemagne
Andrea Taschetto
Climatologue, Australie
Thomas Terberger
Archéologue, Allemagne
Marc Thuillard
Spécialiste des mythes, Suisse
Laurent Vanel
Ingénieur informaticien, Paris
Anaïs Vignon
Chercheuse en neurosciences, Paris
Nicolas Wandewalle
Physicien, Belgique
Beth Weeks
Spécialiste de la sécurité alimentaire, États-Unis
Sébastien Weibel
Psychiatre, spécialiste du TDAH de l'adulte, Strasbourg
Antje Weisheimer
Météorologue et climatologue, Royaume-Uni
Zhe Zhu
Géographe, États-Unis

Epsilonoon et Nota Bene s'associent



Le monde sous l'angle historique

« C'est un projet perso qui a dérapé, dans le bon sens !, sourit Benjamin Brillaud, alias Nota Bene. J'ai commencé en 2014 avec Internet, tout seul face à moi-même, à faire des vidéos parce que je suis fou d'histoire. Aujourd'hui, nous sommes une dizaine à temps plein, une cinquantaine de collaborateurs, et nous travaillons avec des spécialistes. » Nota Bene, c'est une chaîne YouTube qui décrypte l'histoire de l'Europe et du monde. Mais c'est aussi tout un média multiformat sur les réseaux sociaux, des livres, des documentaires télé... « On fait évoluer les formats en permanence. Tout ce qui a plus de trois mois, j'ai tendance à trouver que c'est nul. » En tâchant de garder la sincérité de l'intention éditoriale. En résistant, par exemple, à la vague de documentaires sur les pandémies pendant le Covid. « Je n'en avais pas envie. Et je sais que les rois de France, ça ferait trois fois plus de stats, mais mon ambition, c'est de proposer des trucs qu'on voit moins. » Nota Bene, c'est surtout un regard clair et franc, un ton direct, un respect de la science et des chercheurs. Et un engagement à déconstruire les fake news historiques – il s'est bien amusé à déboulonner le mythe du cowboy dans un documentaire diffusé en juillet sur France 5. Bref, une approche grand public mais exigeante, portée par une éthique journalistique. Évidemment, à *Epsilonoon*, cela nous a parlé. Nous nous sommes rencontrés et nous avons décidé de collaborer pour des émissions en partenariat, des échanges de sujets et d'idées. C'est le début d'une belle aventure.



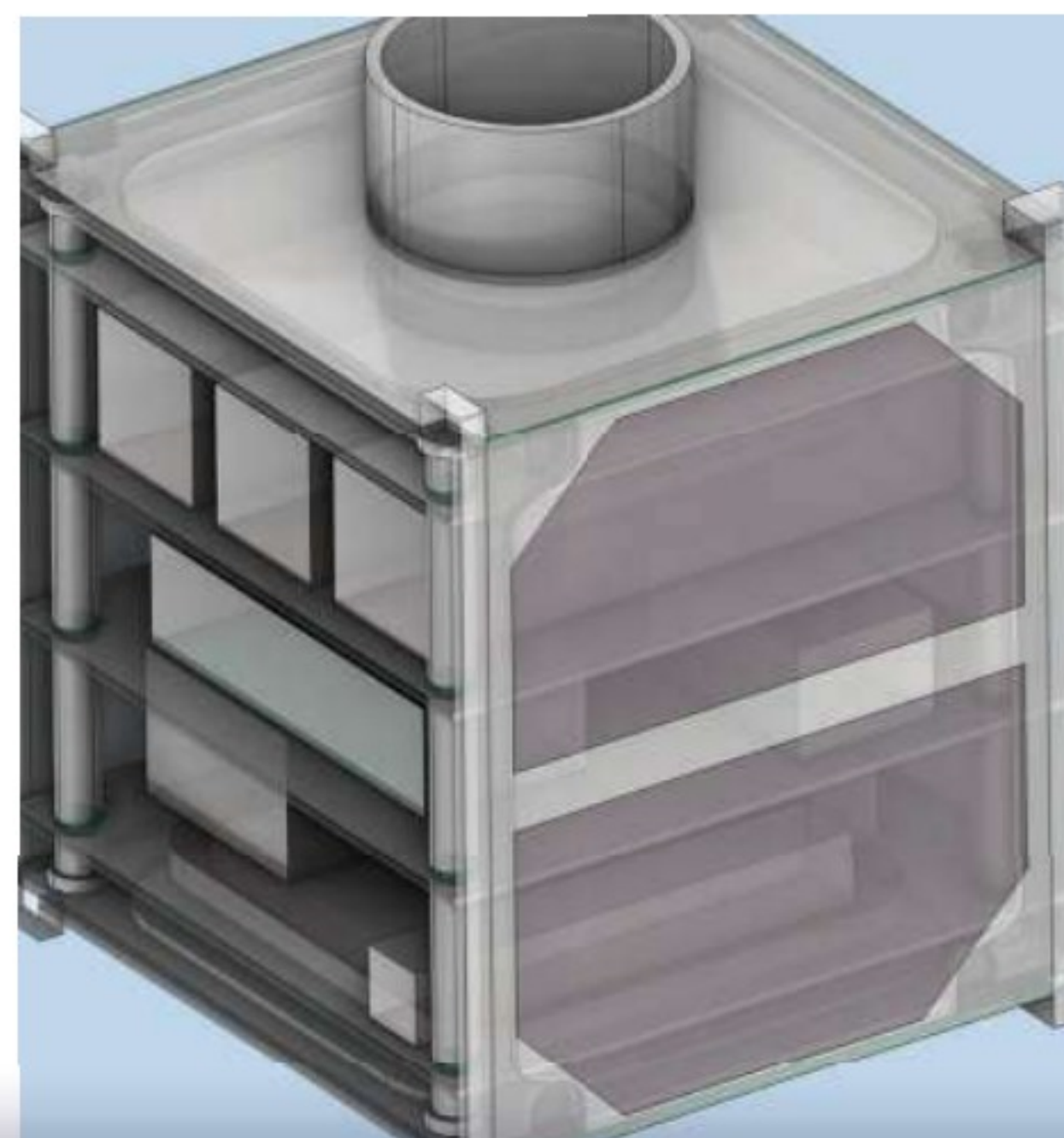
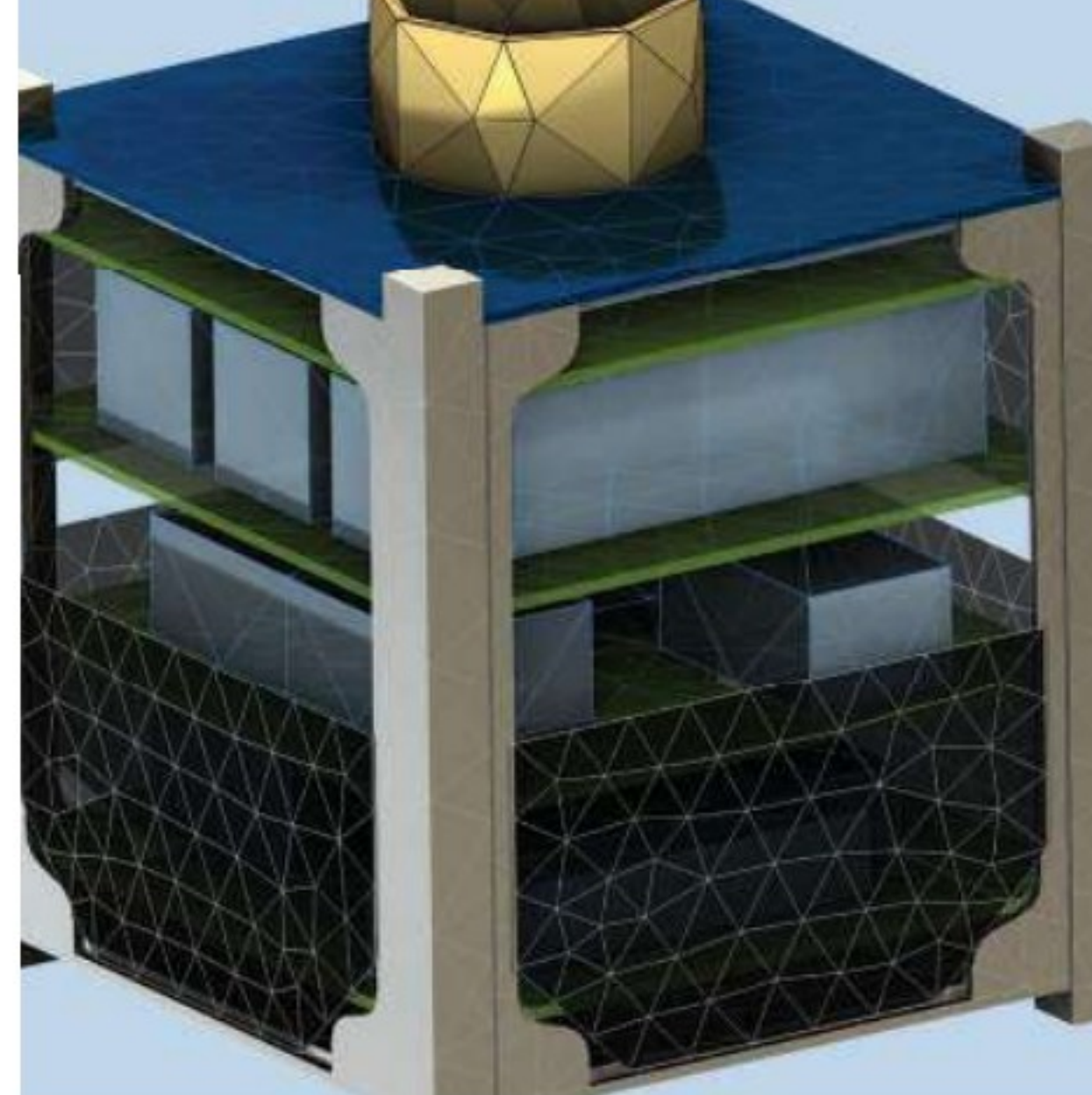
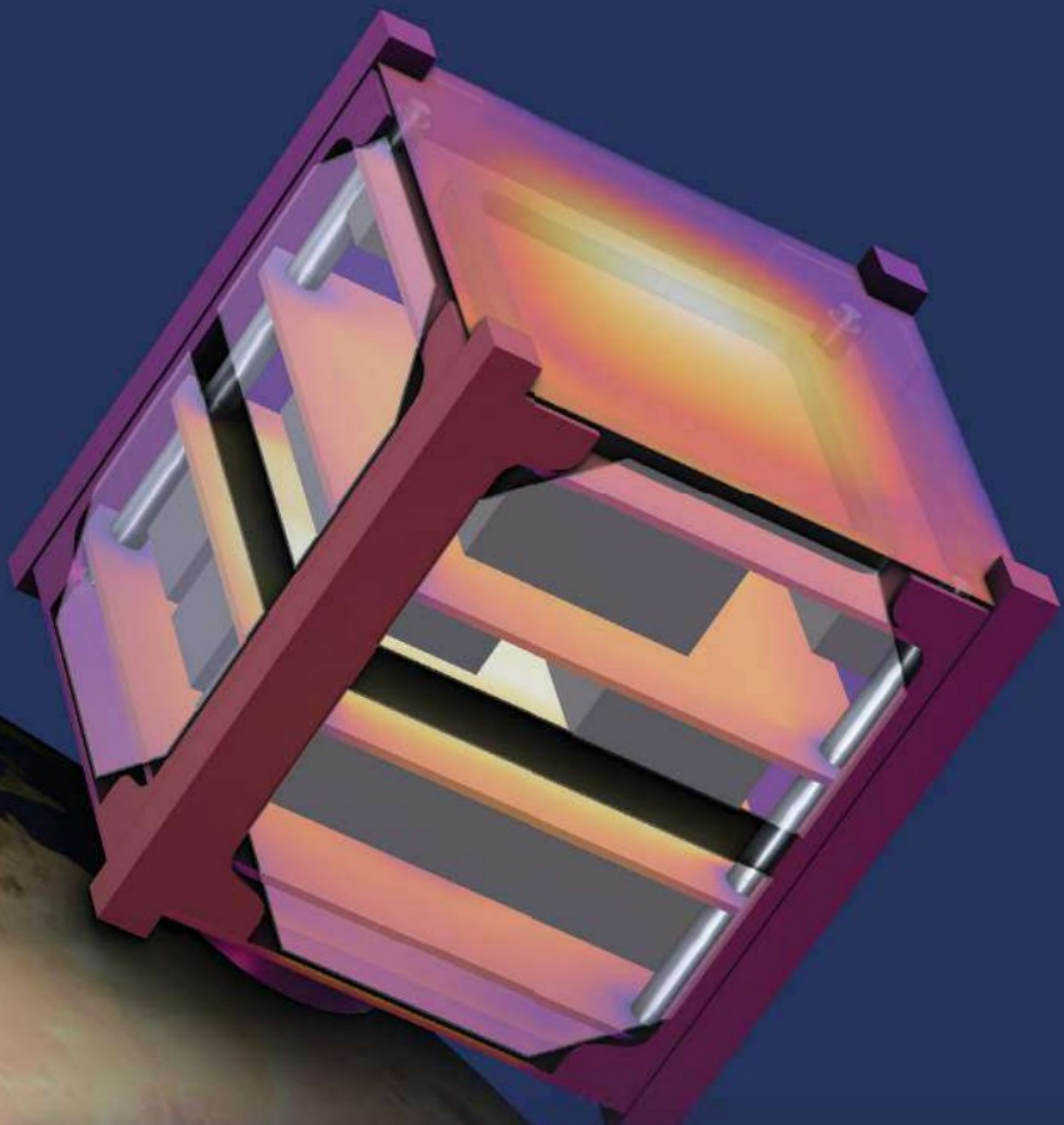
NOTA BENE

Sur YouTube

@notabenemovies
@notabonus

Sur Twitch
Facebook, Twitter,
Instagram, TikTok...

📺 @notabenemovies



Devenez leader en conception pour l'aérospatiale et la défense

avec COMSOL Multiphysics®

La simulation multiphysique favorise l'innovation des produits A&D pour plus de sécurité et de performance. En construisant des modèles toujours plus proches de la réalité, les ingénieurs développent, testent et vérifient leurs conceptions plus rapidement.

» comsol.fr/feature/aerospace-defense