

SEP M
TOP
ventes



epsilon | n° 59

epsilon

nouveau magazine scientifique d'actualité

n°
59
mai
2026



IA
VA-T-ELLE
MULTIPLIER
LES GUERRES ?

SANGLIER
LE GAGNANT DE
L'ANTHROPOCÈNE

**LA PISTE
DU VACCIN
ANTICOCAÏNE**

MATHS
LE TRIOMPHE
DES CATÉGORIES

MÉTHODE COUÉ
ÇA MARCHE !

ET MAINTENANT ?

**LES IMPASSES DE LA NASA
L'ARRIVÉE DE LA CHINE
GÉOPOLITIQUE DE LA LUNE**

DOM: 7,90€ - BEL: 7,60€ - CH: 11,10 CHF - CAN: 10,99 CAD
DEU: 9,40€ - ESP/GRC/ITA/PRT: 7,60€ - LUX: 8 €
MAR: 77 MAD - NCL: 960 XPF - TUN: 14,50 TND CPPAP

L 14100 - 59 S - F: 6,90 € - RD



LUNE | IA | SANGLIERS | VACCIN ANTICOCAÏNE | MATÉRIEL ET MÉTHODE COUÉ

7^E
ÉDITION

5 ET 6 JUILLET 2026

Un festival d'astronomie
au coeur du village
le plus haut d'Europe,
réputé pour avoir
l'un des ciels les plus
purs au monde

SAINT-VÉRAN (HAUTES-ALPES)

LEQUEYRAS.COM

RENCONTRE
en Ciel pur
Les couleurs du cosmos

TEMPS FORTS

GRAND PUBLIC

2 TABLES RONDES
animées par MATHIEU VIDARD

5 JUILLET

Le cosmos,
un univers coloré ?

6 JUILLET

Qu'est ce que les nuances
de couleurs racontent
des planètes ?

2 CONFÉRENCES
Quand l'art et les mathématiques
racontent l'univers

GRAND PUBLIC

5 JUILLET YAEL NAZÉ

Astrophysicienne
et professeur
à l'Université de Liège

6 JUILLET CÉDRIC VILLANI

Mathématicien
et lauréat
de la médaille Fields

2 SOIRÉES
D'OBSERVATIONS
NOCTURNES

GRATUIT
TOUT PUBLIC

A l'œil nu puis au télescope,
découverte du ciel nocturne
pour comprendre et lire les
secrets de l'univers à travers
l'oculaire

POUR LES CURIEUX-SES



Ateliers
astrophoto-
graphiques

PUBLIC
AMATEUR



Veillée
astronomique



Visite libre et
gratuite de la
Maison du Soleil

L'ÉVÉNEMENT S'APPUIE SUR UN CONSEIL SCIENTIFIQUE
Hervé Dole (Université de Paris Saclay), Antoine Strugarek (CEA),
Frédérique Motte (IPAG), Magali Deleuil (LAM) et Marc Ferrari (OHP)



HERVÉ POIRIER
RÉDACTEUR EN CHEF

epsilon

DOSSIER SPÉCIAL

Lorsque nous avons créé *Epsilon*, nous n'avions pas prévu ce format. Il s'est imposé de lui-même fin février 2022, au moment de l'invasion de l'Ukraine. Face à ce bouleversement du monde, nous avons bouleversé notre sommaire et inventé une nouvelle formule: un ensemble d'articles qui éclairent l'événement sous toutes ses facettes (à l'époque: technologies militaires, cyberguerre, dissuasion nucléaire, tensions énergétiques...), en variant le rythme, les angles et les modes de traitements (récit, data, enquête, entretiens...). L'idée était de sortir d'une lecture linéaire, de laisser la complexité du monde se déployer dans toutes ses dimensions, sans la resserrer autour d'un axe, d'un propos.

Et cela nous a plu. Face aux flux d'informations qui déferlent en continu, il nous a semblé que ce format permet de prendre du recul et de la hauteur. Pour des sujets qui s'imposent à tous: nucléaire, plastique, réseaux sociaux. La dernière fois, c'était en janvier 2025, autour d'un chiffre choc: l'année 2024 devenait officiellement la première dont l'élévation de la température

moyenne dépassait le seuil symbolique de +1,5 °C – nous l'avons titré « Le nouveau monde », dossier spécial.

Début avril, Artemis II a décollé. Cela faisait plus de cinquante ans que des humains n'avaient pas fait le tour de la Lune – les images de sa face cachée sont époustouflantes. Sachant que la super-fusée chinoise a réussi son premier décollage en février, et que la ruée est mondiale – 55 missions lunaires sont prévues d'ici à 2038, avec une cinquantaine de pays engagés. Cela s'est naturellement imposé: pour vous raconter les dimensions techniques, économiques, géopolitiques de ce grand retour vers la Lune, il fallait un dossier spécial.

HORS-SÉRIE

epsilon

nouveau magazine scientifique d'actualité

Hors-Série
#18

Humanoïdes

Rencontre avec les 7 robots stars

Ribosome

LA MACHINE QUI A INVENTÉ LA VIE

LANGAGE

MACHINE

FAUT-IL ÊTRE POLI AVEC LES IA ?

Ces machines qui refusent de mourir

ANTICYTHÈRE

Les leçons
d'une machine
oubliée



POURQUOI LES
MACHINES NOUS
RENDENT MYSTIQUES

DOSSIER

Les machines de l'extrême

Le frigo quantique,
Le train à 4000 km/h,
Le foreur magnétique...

**En vente chez votre
marchand de journaux**

POUR CE NUMÉRO, EPSILOON A INTERROGÉ

99 scientifiques

dans le monde entier

« Après une brève interruption de 54 ans, la NASA reprend ses activités d'envoi d'astronautes sur la Lune »

Jared Isaacman,
administrateur de la
NASA (États-Unis)

lire p. 32



« Nous assistons à une guerre accélérée par l'intelligence artificielle »

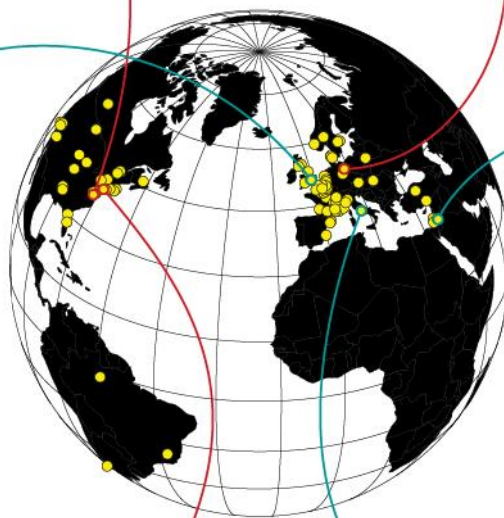
Anselm Küsters,
chercheur en digitalisation
(Allemagne)

lire p. 20

« Les catégories sont une représentation naturelle de la réalité »

Bob Coecke,
physicien
(Royaume-Uni)

lire p. 76



« L'influence de l'autosuggestion sur notre bien-être physique et notre immunité est en train d'être démontrée »

Nitzan Lubianiker,
neurobiologiste (Israël)

lire p. 66

« "Addictions, il faudrait un vaccin !": j'ai lu ça il y a longtemps en couverture de Newsweek. Alors nous nous sommes lancés »

Ronald Crystal,
chercheur en médecine
génétique (États-Unis)

lire p. 80

« Les populations de sangliers étaient très faibles au XIX^e et XX^e siècles, ils retrouvent aujourd'hui leur rôle écologique normal »

Stefano Focardi,
écologue à l'Institut des
systèmes complexes (Italie)

lire p. 60



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

Club epsilonon

Je travaille dans le service des risques d'une grande société et je connais bien le bug de l'an 2038 [#57, p. 20]. Il est tellement difficile à résoudre que mon objectif est de partir à la retraite avant ! Ceux qui savent savent !

Denis Gaubert, Londres

Dans votre article consacré au baiser [#57, p. 80], une phrase a retenu mon attention : « À ce jour, personne n'a aperçu la moindre représentation préhistorique d'un baiser langoureux sur les murs d'une grotte. » Dans mon État d'origine, au Brésil, le Piauí, on trouve de nombreuses peintures rupestres, dont l'une est connue sous le nom de « O beijo » (Le baiser). Il s'agit d'une peinture vieille d'environ 12000 ans, qui représente deux figures humaines se faisant face dans une posture intime, interprétée comme une étreinte ou un baiser par de nombreux archéologues.

Vanessa de Carvalho, Reims

En effet, cette référence nous avait échappé. Elle n'apparaît pas dans les études sur l'origine du baiser romantique. Sans doute parce que son interprétation ne fait pas consensus. Le dessin pourrait juste représenter une rencontre, une marque d'affection entre deux proches, un rituel – voire un échange de nourriture.

Votre article sur les « Lumières obscures » [HS#18, p. 32] omet la composante évangélique du trumpisme, source non négligeable de cette hostilité contre les sciences. Les évangéliques sont les héritiers du mouvement fondamentaliste du siècle dernier, qui s'est fait connaître par sa croisade contre l'enseignement de la théorie de l'évolution.

Joan Stavo-Debauge, Bière, Suisse



Je suis en train de lire votre article sur le bilan radiologique de Tchernobyl [#58, p. 20]. J'étais à cette époque chimiste à la centrale du Tricastin. Je vous livre une anecdote : un matin, quelques jours après l'accident, des jardiniers étaient venus tondre les pelouses. Quand leur camion bien chargé est reparti, cela a déclenché des balises de radioprotection en sortie de site ! Les jardiniers étaient blêmes et on a eu beaucoup de mal à leur expliquer que le seuil de détection était très bas, et qu'il n'y avait aucun danger. Mes collègues et moi savions que les valeurs de contamination du SCPRI étaient totalement bidon, mais sans réelles conséquences sur la santé. Avec le recul, je trouve qu'on n'a pas tellement menti. Si j'ose dire.

André Lespès, Bourg-Saint-Andéol



Une question sur nos articles ? Une remarque ? Écrivez-nous à redaction@epsilon.com

Votre article sur l'avenir de l'hydrogène [#55, p. 20] ne prend pas en compte l'hydrogène blanc, alors que des sondages prometteurs, comme en Lorraine, commencent à produire des effets.

Christophe Geoffrion, Préalay

Nous avons publié en mai 2023 une enquête sur ces gisements, comme celui confirmé en Lorraine – voir p. 10. Mais cette manne est encore trop embryonnaire pour sauver la filière dont nous décrivions l'effondrement, celle d'un hydrogène produit en usine.

Cela fait longtemps que je pensais vous écrire et les mois passent. J'ai lu tous vos articles depuis le début de votre aventure – j'avoue, j'ai bien dû passer quelques paragraphes sur certains sujets mathématiques trop pointus. Vous êtes arrivés au bon moment pour moi : je voulais m'abonner à un magazine scientifique quand j'ai eu vent de votre audace et votre courage à ne pas accepter l'évolution que voulait vous imposer votre ancien journal. Je n'ai pas hésité un instant. J'adore les sciences. Quel plaisir de comprendre le monde, et aussi d'espérer le changer.

Gwec'hen Maudet, Montreuil

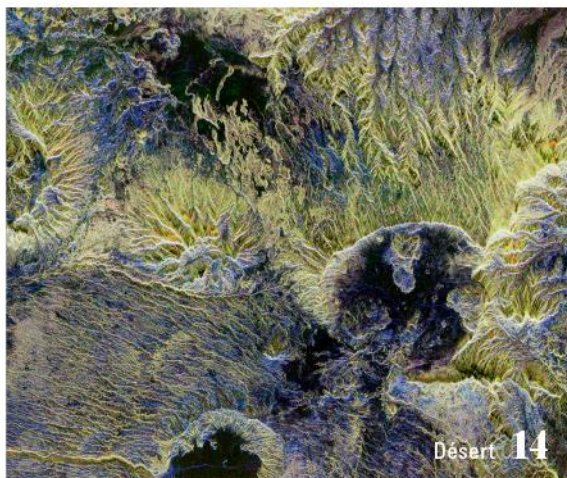
J'ai lu votre article sur les hippocampes [#56, p. 68] et je me suis demandé : qu'est ce qui fait dire que l'hippocampe qui pond des œufs est un mâle ? Et si les scientifiques s'étaient trompés ? Et si on était face à une femelle ?

Evan Forte, Aix-en-Provence

Comme pour nous, la détermination du sexe chez les hippocampes est génétique, avec une paire de chromosomes XY pour les mâles et XX pour les femelles. Mais il faut reconnaître que chez eux, le Y est très semblable au X : le sujet continue de faire l'objet d'études.

Rectificatif

Dans la rubrique « Dans la machine » du #57, nous vous expliquions pourquoi nous ne vous parlerions pas de la reconstitution de la voix d'Henri IV. Un lecteur nous signale une autre bonne raison de ne pas en parler : il y a un consensus pour dire que le crâne en question n'est en fait pas celui du premier roi de la dynastie des Bourbons. Et ça fait deux fois qu'on en parle pour ne pas en parler...



Désert 14



Coué 66



32 Lune



70 Göbekli

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 (icône), Valérie Samuel (maquette)

Avec: Noé Bente, Simon Devos, Pierre Martin, 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 - Epsiloon - 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), diffusioindj@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, 0671 724316

Impression: Boccia Industria Grafica S.p.A., Salerno, Italie

Origine du papier: Autriche

Taux de fibres recyclées: 33%
Eutrophisation
Ptot: 0,007 kg/t
PEFC



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

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

Une publication du groupe



Photos: Couverture: Getty Images-NASA; p.10-11: J.Farah/C. McCully/Las Cumbres Obs. - J-Ch. Verhaegen/AFP - Shutterstock; p.12-13: JAXA - Shutterstock - Univ. Tübingen / H. Jensen - Laguna Design/SPL; p.14-15: ESA; p.16-17: Masaaki Miki/University of Tokyo; NASA/Zena Cardman; Maximina Yun Lab; p.18-19: Brett Lewis; A. Borlaff/NASA.

Ce numéro comporte une offre de réabonnement et une offre d'abonnement sur les exemplaires destinés aux kiosques en Suisse et en Belgique.

10
FIL D'ACTUS

14
EN IMAGES

20

ANALYSE

**L'IA VA-T-ELLE
MULTIPLIER LES
GUERRES ?**

24
ATLAS
**Voici les cultures
qui émettent le plus**

26
LABYRINTHE
Le casse-tête du sucre

28
C'EST DANS L'AIR
**Quand on abandonne
une technologie**

30
BIG DATA
**Tout n'est pas
qu'une question de gènes**

epsilon &
S'ASSOCIENT



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

32

DOSSIER SPÉCIAL

**LUNE,
ET MAINTENANT ?**

Artemis II en images
Retour sur une année folle
Vers le sol lunaire
2028? Mission impossible
Et pendant ce temps, en Chine...
Une ruée mondiale
Géopolitique: le grand retour de l'enjeu lunaire

60
ANTHROPOCÈNE
Un monde de sangliers

66
MÉTHODE COUÉ
La preuve que ça marche

70
GÖBEKLI TEPE
**Le temple
de l'apocalypse**

76
MATHS
**Et si la théorie des catégories
était la théorie du tout ?**

80
DROGUE
**La piste du vaccin
anticocaïne**



**POP,
SCIENCE**

85
FUN FACTS
Mars, éléphants de mer, yeux,
morceaux cassés, os de baleine,
après-midi, miaulements...

88
CULTURE SCIENCE
Stand-up scientifique: l'humour
de la science

90
INSTANT GEEK
Voiture solaire, métal flottant,
petit pixel, drone en bambou,
des cellules qui jouent à *Doom*,
caméra ultrarapide, gilet airbag...

94
LIFE
Boire du café et bien dormir;
avoir l'esprit d'équipe; savoir
réconforter; vivre près de sa
famille; n'en faire qu'à sa tête;
jurer pour être plus fort.

96
Dans la machine
Les articles auxquels
vous avez échappé.

Un gisement d'hydrogène en Moselle ?

La Française de l'énergie affirme avoir détecté ce gaz « sur de nombreux intervalles du bassin sédimentaire », le long de son forage de 3655 m – le plus profond du monde dédié à cette ressource bas carbone encore hypothétique. De là à parler de gisement d'hydrogène blanc exploitable ? Pas si vite : de nouvelles mesures sont prévues pour confirmer ou infirmer la réalité de ce réservoir. D'autres recherches sont en cours dans les Pyrénées.



On a vu naître un magnétar

C'est un spectacle exceptionnel qui a été observé en direct, à un milliard d'années-lumière de distance : une équipe d'astronomes vient d'assister à la création d'un magnétar, un type particulier d'étoile à neutrons doté d'un champ magnétique extrême. Ces astres, qui se forment à la fin de la vie d'une étoile très massive, étaient suspectés d'alimenter par leur magnétisme l'explosion de lumière qui accompagne leur naissance, formant des supernovæ incroyablement brillantes. Cette première observation tend à confirmer le scénario.

Oui, l'anxiété amplifie l'eczéma

« Le stress psychologique n'est pas seulement associé à la maladie, il peut activement déclencher et aggraver l'inflammation cutanée », annonce le dermatologue Fang Wang, qui vient de montrer que le lien est direct, rapide et spécifique : dès les premiers signes d'anxiété, le système immunitaire de la peau s'emballe.

Les chasseurs-cueilleurs transformaient déjà les paysages

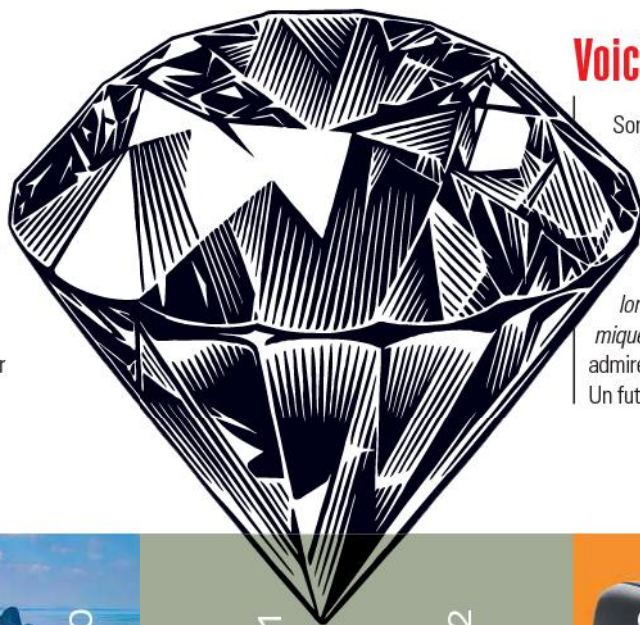
L'analyse de pollens vieux de plus de 10000 ans révèle une végétation européenne bouleversée par les incendies d'origine humaine, et par la chasse aux grands herbivores. Ceux d'il y a 130000 ans montrent aussi un impact des néandertaliens... Décidément, nous sommes tous un peu encombrants.

Les plantes fleuriraient grâce à la rosée

Les gouttelettes qui se forment autour des microstructures des feuilles catalysent la production d'hormones végétales, ont constaté les botanistes. La preuve : la survenue de rosées printanières prédit à merveille la date des millions de floraisons collectées entre 1990 et 2023 chez les brassicacées.

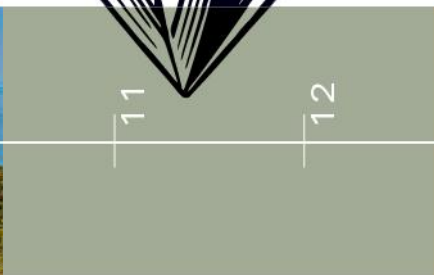
Le niveau des mers est mal évalué

Deux chercheurs néerlandais jettent un pavé dans la mare: 90% des études d'impact utilisent des modèles gravimétriques théoriques. Et sous-estiment de près de 30 cm le niveau des mers. La hausse des océans risque de concerner plus de monde que prévu.



Voici le super-diamant

Son empilement d'atomes n'est pas cubique, mais hexagonal. Deux équipes chinoises viennent de le synthétiser. L'une a même pu mesurer sa dureté et sa stabilité, supérieures à celles des autres diamants. «C'est la première fois que l'on obtient un échantillon assez grand pour évaluer son élasticité volumique et de cisaillement, et sa stabilité thermique», admire Oliver Tschauner, de l'université du Nevada. Un futur outil de découpe très haute performance.



Un quart des tiques en France présentent un risque pour la santé

27% précisément sont porteuses d'au moins un pathogène pour l'humain. Et 15% portent, entre autres, la bactérie responsable de la maladie de Lyme. L'analyse de 2009 tiques, envoyées par des personnes mordues entre 2017 et 2019, montre des taux d'infection plus importants dans le centre et surtout dans l'est de la France. Et 7% des larves de l'espèce la plus répandue en sont également porteuses, ce qui conforte les récentes études sur le potentiel infectieux à ce stade de développement.

Fin du métavers

Il y a cinq ans, Facebook se rebaptisait Meta et annonçait la révolution: un monde numérique immersif pour travailler, se rencontrer, jouer. Faute de succès, et pour miser sur l'IA, l'entreprise vient d'annoncer l'arrêt progressif de son métavers, en maintenant son accès depuis les mobiles. Un échec à 80 milliards de dollars...

Ryugu contient toutes les bases de l'ADN

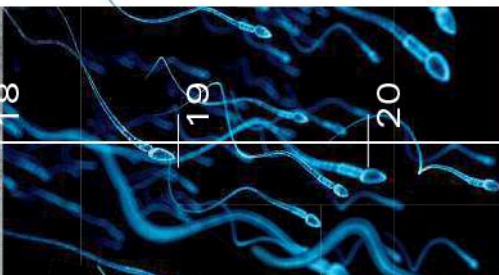
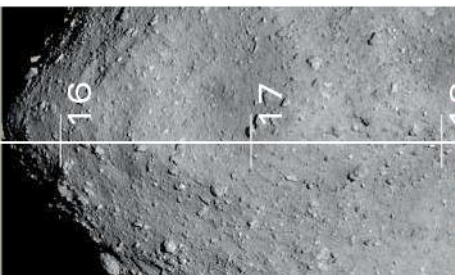
Adénine, guanine, cytosine, thymine et uracile, conclut Toshiki Koga, qui a analysé les échantillons de l'astéroïde rapportés par la mission Hayabusa 2 en 2020. «*Comme dans Bennu et les météorites carbonées. Et probablement tout le Système solaire.*»

Le premier implant cérébral commercialisé

La Chine l'a autorisé dans le cas de paralysies des mains, suite à des lésions de la moelle épinière. «*Cela souligne la rapidité des développements chinois fondés sur des choix technologiques pragmatiques*», commente Guillaume Charvet, au CEA Clinatec.

Première tentative d'écriture il y a 40 000 ans

Ce sont des lignes, des points, des croix, des quadrillages, des étoiles qui figurent sur plus de 200 objets découverts en Allemagne – outils, figurines, instruments de musique. Et les analyses statistiques montrent que ces signes ne sont pas tracés au hasard : il y a une logique informationnelle et une complexité comparable à celle des débuts de l'écriture proto-cunéiforme, vers 3500 avant notre ère... Mais ces populations de l'aurignacien ne sont pas allées plus loin.



Trop de cadmium dans l'alimentation

L'Agence nationale de sécurité sanitaire confirme l'alerte : «*Une part significative de la population dépasse les valeurs sanitaires de référence*» pour ce métal lourd, cancérigène, mutagène et toxique pour la reproduction. L'agriculture française fait un usage abondant d'engrais minéraux phosphatés provenant de gisements riches en cadmium. L'Anses conseille d'abaisser la teneur maximale du métal de 90 à 20 mg/kg (elle est déjà de 60 dans l'Union européenne et en bio). Et de manger moins de blé et de pommes de terre.

Une thérapie ARN contre l'infertilité masculine

En injectant directement dans les testicules de souris des ARN codant pour un gène essentiel à la fertilité, absent chez ces rongeurs, des chercheurs japonais ont restauré leur production de spermatozoïdes. Ils ont même enfanté des souris en pleine santé. Encourageant pour les cas d'infertilité masculine d'origine génétique.

Effondrement des migrations chez les poissons d'eau douce

Pangas géants, anguilles, lamproies, poissons-chats, saumons atlantiques... 325 poissons nécessitent une protection internationale urgente et coordonnée selon la nouvelle évaluation de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage. 81 % d'entre eux ont disparu depuis les années 1970.

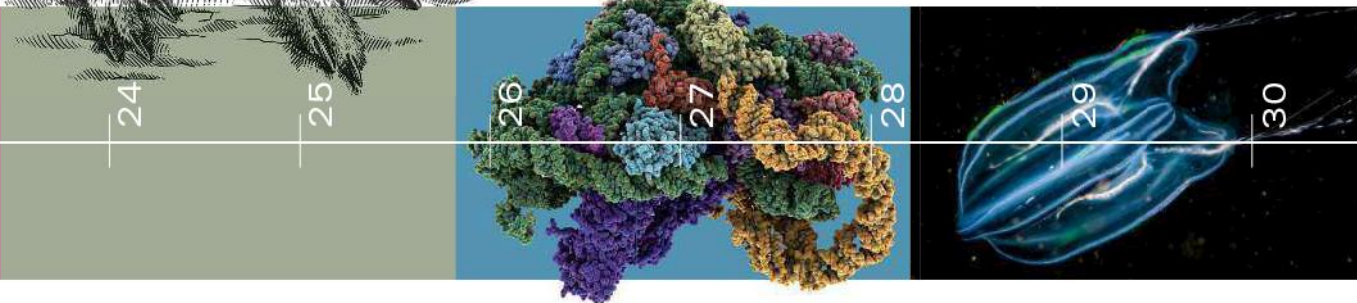


Les koalas vont mieux

« Nous avons été surpris de voir à quelle vitesse cela s'est produit », se réjouit le biologiste australien Collin Ahrens. Protégées des chasseurs de fourrure au début du XX^e siècle, les quelques centaines de koalas rescapées de la région de Victoria, dans le sud-est de l'Australie, ont depuis donné naissance à un demi-million d'individus. Cette expansion démographique a déjoué le goulet d'étranglement génétique : les génomes de 418 individus sondés par le chercheur confirment que cette population s'éloigne à présent du piège fatal de l'extrême consanguinité.

Même les cténophores ont des synapses

Le système nerveux de ces animaux marins gélatineux a été reconstruit en 3D. « Nous avons mis en évidence une structure neuronale étonnamment élaborée, révèle la biologiste Anna Ferraioli. Les organismes primitifs pourraient être plus sophistiqués qu'on ne le pensait. »



Une fusée nucléaire vers Mars !

Nouvelle annonce tonitruante — et intenable ? — de la NASA, qui compte envoyer dès décembre 2028 une mission robotisée propulsée à l'aide d'un réacteur nucléaire ; la chaleur générée par cette minicentrale alimentera un moteur électrique. Avec, bien sûr, l'objectif d'aller beaucoup plus vite.

À l'origine, le ribosome était un parasite

Cette hypothèse avancée par deux biologistes moléculaires américains permet de sortir du paradoxe de l'œuf et de la poule. Car sans les ribosomes, pas de protéines, et sans ces protéines, pas de ribosomes. Il y a plus de 4 milliards d'années, des protocellules riches en acides aminés mais incapables de les assembler en protéines auraient été infectées par des protoribosomes : le parasite, en promouvant la synthèse de protéines, en aurait bénéficié en retour pour se répliquer. Et les deux êtres seraient entrés en symbiose.

Arrêt des recherches pour la Malaysia Airlines

La compagnie Ocean Infinity annonce la fin de sa nouvelle campagne de recherche du Boeing 777 disparu en 2014 — nous vous en parlions dans *Epsilon* #56. « Malgré tous nos efforts, nous n'avons pas été capables de le retrouver. Mais nous restons engagés. »

Découverte d'une nouvelle particule

C'est une cousine du proton particulièrement lourde et insaisissable — sa durée de vie est de quelques milliardièmes de milliardièmes de seconde. Sa mise au jour au LHC de Genève doit permettre de mieux comprendre l'interaction nucléaire forte.

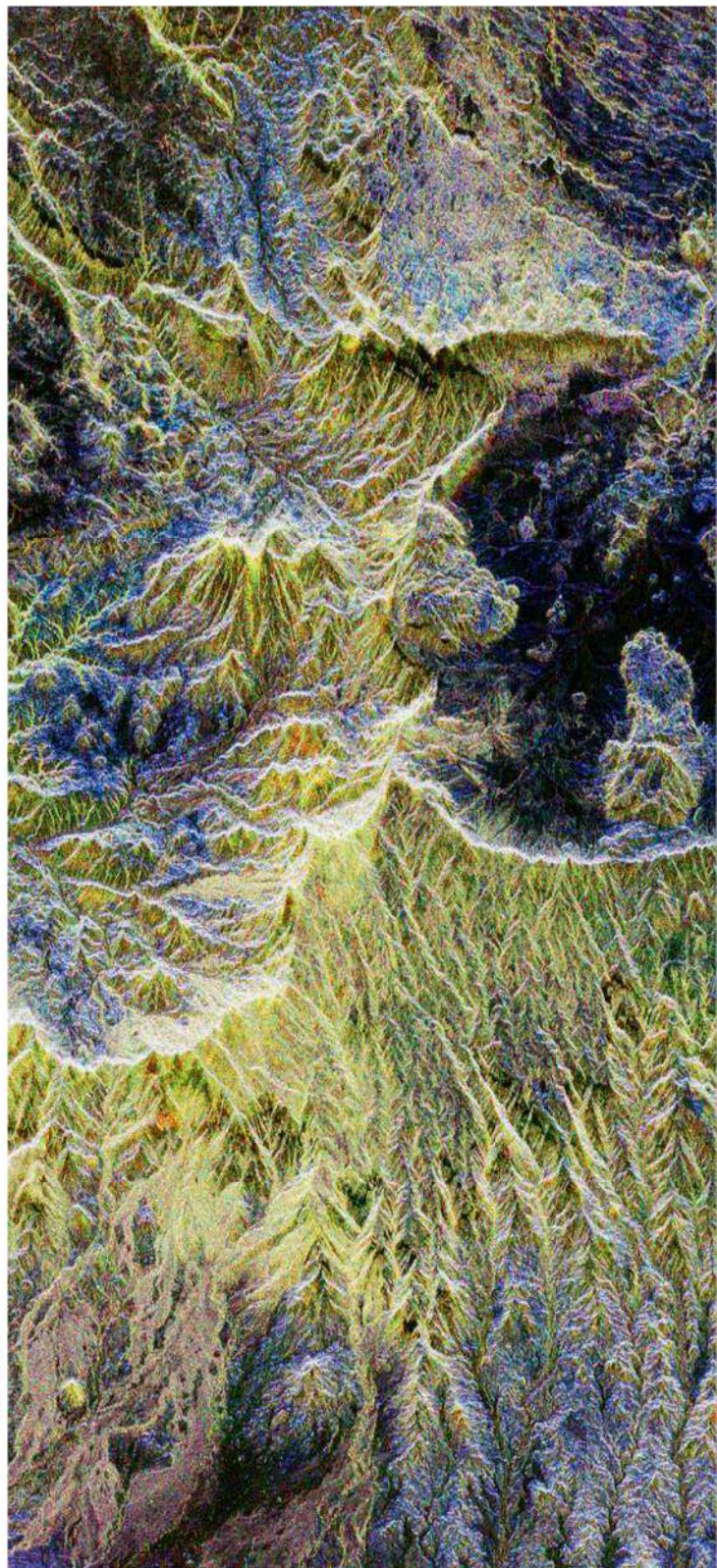
Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com

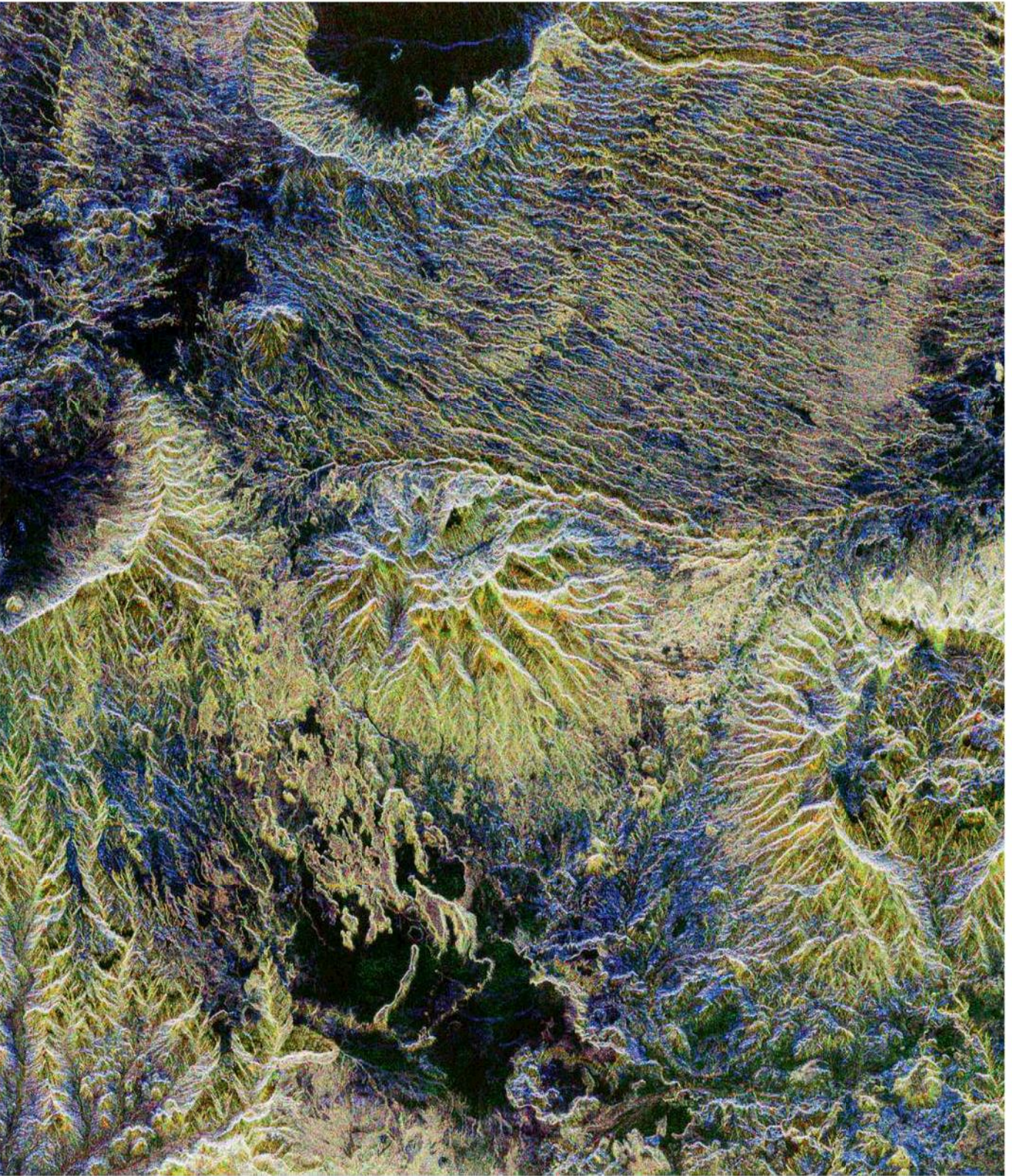
En images

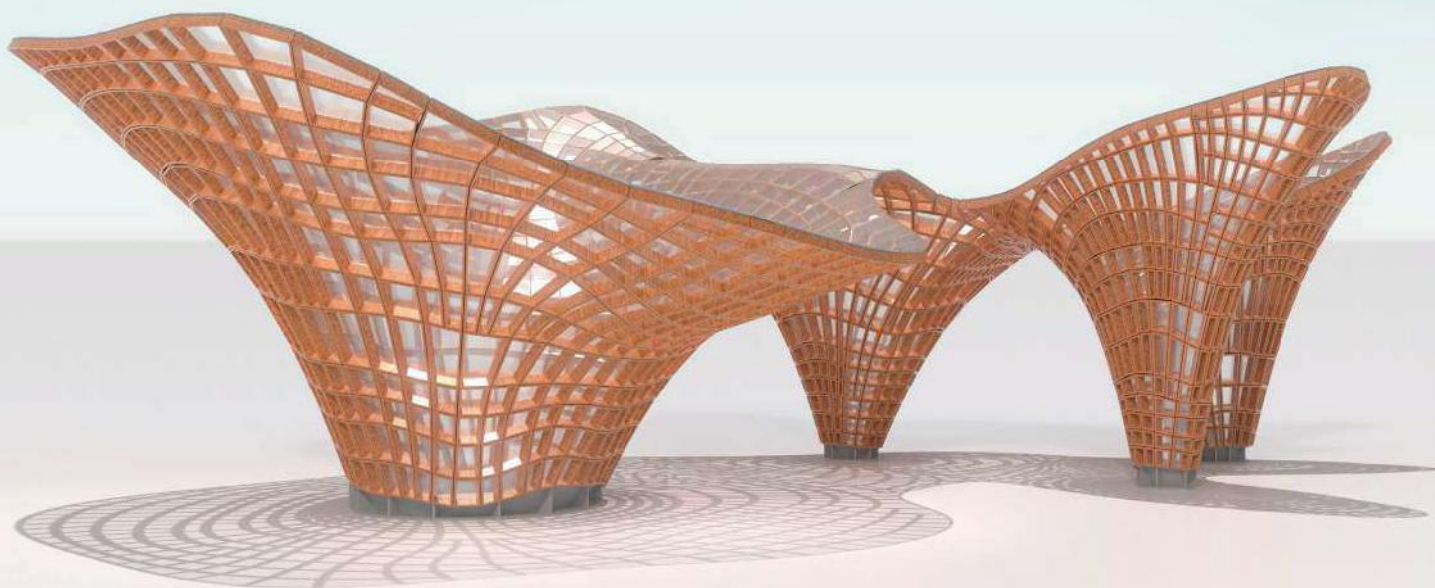
Les fantômes du désert

D'anciens méandres, des lits de rivières asséchées, des traces d'eau enfouies... Cette image est l'un des tout premiers clichés du satellite Biomass de l'Agence spatiale européenne. Ce radar à la résolution de 50 à 100 m peut voir jusqu'à 5 m de profondeur. Sous les sables de l'une des régions les plus arides du Sahara, les monts Tibesti, à l'extrême nord du Tchad, émerge ainsi tout un monde d'eau disparu, avec l'imposant Tarso Yega et ses 2972 m d'altitude au centre. **N.B.**

5 KILOMÈTRES







Formes

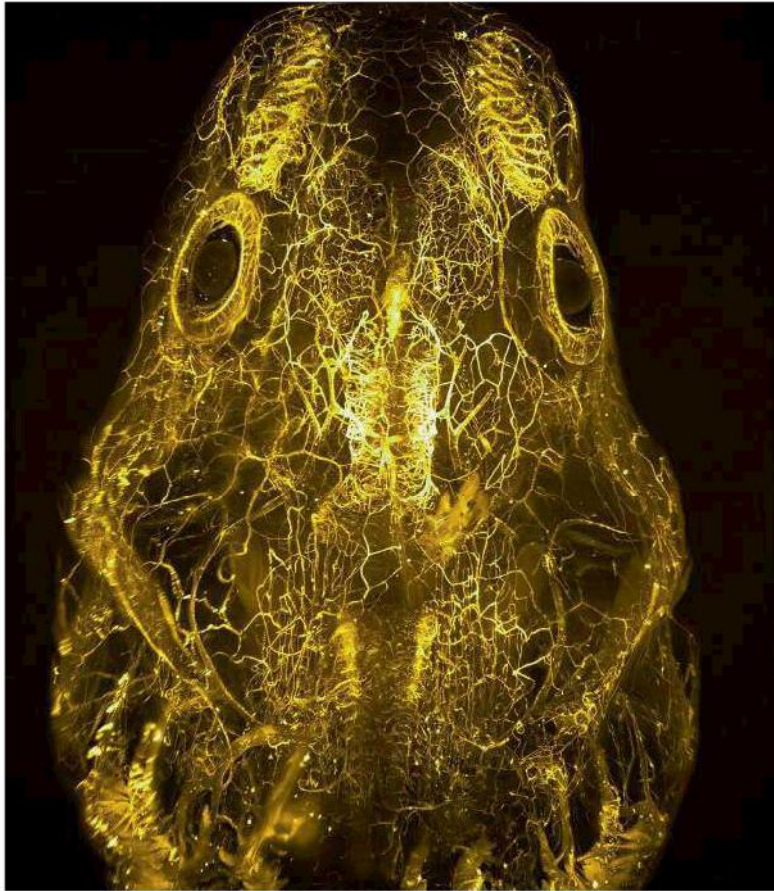
Trouver la meilleure architecture pour concevoir des constructions en treillis particulièrement complexes mais sans perdre en robustesse... C'est le défi que relèvent ici un chercheur de l'université de Tokyo et un ingénieur en structures installé aux États-Unis.

« Produite grâce à notre nouvel algorithme de conception, cette structure aux formes limites irrégulières peut supporter son propre poids sans se déformer », vante Masaaki Miki. A.P.

En apesanteur

Dans l'espace, tout est bizarre. En témoigne ce test mené en microgravité à bord de la Station spatiale internationale : plongées dans un fluide visqueux, des microbilles se sont compactées jusqu'à former des structures plus grandes. De quoi, selon la NASA, mieux comprendre la dynamique des incendies, de la dispersion du pollen ou de la pollution plastique. **N.B.**

1 CENTIMÈTRE

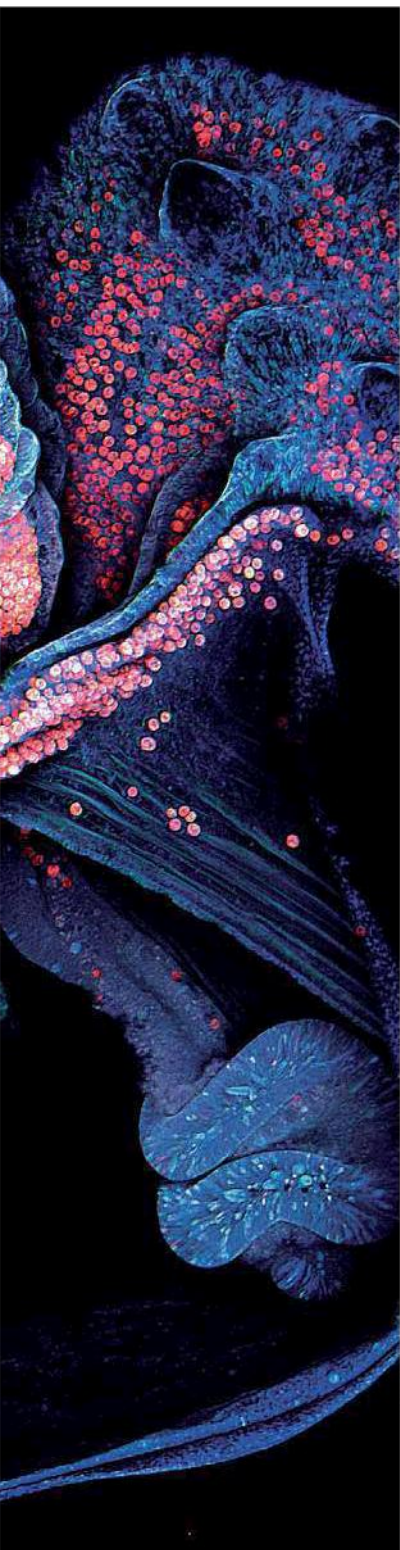


1 MILLIMÈTRE

Le bijou

Les capacités de régénération de cet axolotl sont incroyables. Pour le démontrer, des biologistes de l'université de Dresde ont révélé par fluorescence toute son architecture vasculaire. « *Cela nous a permis de comprendre les flux de nutriments, de cellules souches et immunitaires à l'œuvre au cours du développement et de la régénération* », indique Maximina Yun. Après une ablation de son thymus, cette petite salamandre l'a en effet entièrement régénéré. Un cas unique chez les vertébrés, surtout pour des réseaux aussi complexes. **N.B.**





50 MICROMÈTRES



En cage

« La lumière émise par les satellites masque nos données spatiales et aucun logiciel ou IA ne peut récupérer ces informations. Cette image est un avertissement pour l'astronomie future », alerte l'astrophysicien Alejandro Borlaff. Générées par des chercheurs de la NASA, ces lignes illustrent la pollution lumineuse que subira d'ici quelques années un télescope spatial en orbite à 800 km de la Terre, quand les 560 000 satellites annoncés auront été lancés. **L.V.**

Symbiose

C'est un polype parmi les milliers qui forment les grandes colonies de coraux. « Cette coupe transversale microscopique met en valeur sa fluorescence naturelle: c'est une avancée considérable pour comprendre leur biologie reproductive », se félicite Brett Lewis. En fuchsia et en violet, en haut, on distingue les cellules urticantes des tentacules. En bleu, les membranes fibreuses de son corps interne. Et en rose, les algues symbiotiques qui vivent dans ses tissus et fournissent ses nutriments. **A.P.**

Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com

GUERRE EN IRAN

L'IA va-t-elle multiplier les conflits ?

De l'identification des cibles à la planification stratégique, l'intelligence artificielle s'invite au cœur des opérations militaires. Mais cette accélération peut-elle rester sous contrôle humain ? Ou risque-t-elle d'entraîner une escalade des hostilités ? Nous avons posé la question aux experts.

PAR VINCENT NOUYRIGAT – ILLUSTRATIONS RÉALISÉES PAR BORIS SÉMÉNIAKO

« Une attaque massive et dévastatrice sur tous les fronts, qui a frappé plus de 1 000 cibles au cours des premières 24 heures », se félicitait Dan Caine, le chef d'état-major interarmées des États-Unis, au début de l'opération « Epic Fury » contre le régime iranien. « Nous assistons à une guerre accélérée par l'intelligence artificielle », lâche Anselm Küsters, chercheur au Centre for European Policy Network, à Berlin. Bien sûr, beaucoup d'informations relèvent du secret-défense. Mais plusieurs déclarations publiques de hauts gradés et d'industriels de la tech révèlent le rôle majeur de l'IA dans les opérations de bombardement.

« L'outil utilisé est le Maven Smart System, en développement depuis 2017

au sein de l'armée américaine, explique Michael Klare, chercheur associé à l'Arms Control Association. C'est un ensemble d'algorithmes de reconnaissance visuelle des cibles potentielles, auquel a été intégré le modèle Claude pour accélérer la mise en corrélation des données et les rendre accessibles pour les pilotes de combat. Ce sont les humains qui prennent les décisions finales, mais une grande partie du processus est effectuée par des machines. »

SOUS PRESSION

Une conférence organisée début mars par Palantir, l'entreprise qui développe le système Maven, a permis d'en savoir plus : nourri d'images de drones, de



satellites, de caméras de vidéosurveillance piratées ou de données issues de smartphones, l'algorithme identifie les cibles, les classe par ordre de priorité, choisit les armes les plus appropriées et évalue les dommages qui seront infligés.

Ce n'est pas un cas isolé : l'Ukraine a développé son algorithme de ciblage Delta, et utilise désormais des drones équipés du module d'intelligence artificielle TFL-1, qui prend le relais dans la



Sur le terrain,
tout accélère

9 janvier 2026

Un mémorandum du Pentagone donne la priorité à l'IA dans l'organisation de l'armée américaine.

1 000

C'est le nombre de **cibles** désignées par l'IA en moins de 24 heures lors du lancement de l'opération « Epic Fury » en Iran.

20

C'est, en secondes, le temps dont dispose un officier israélien pour **valider une cible** fournie par l'IA.

phase terminale du vol pour cibler les militaires russes. Durant le mois qui a suivi l'attaque du 7 octobre 2023, Israël a fait usage de son infrastructure d'IA baptisée Habsora –l'Évangile– pour frapper 15 000 cibles et désigner environ 37 000 Palestiniens comme des militants du Hamas à abattre. Au risque de commettre bon nombre de bavures et de faire dégénérer des conflits ? Une source du renseignement israélien a indiqué

disposer d'une vingtaine de secondes pour valider chaque cible proposée par le système. « Cela ne constitue pas un contrôle humain suffisant, analyse Anselm Küsters. On se trouve dans une situation de biais d'automatisation : les humains ont tendance à s'en remettre aux résultats fournis par le système automatisé, même si des informations contradictoires sont disponibles. Cet effet est d'autant plus fort sous une

pression temporelle, avec un volume considérable de décisions à prendre. »

« L'humain en vient à déléguer la responsabilité de tuer à la machine : l'utilisation de l'IA produit plus de cibles, plus de destruction, plus de morts », avertit Marijn Hoijtink, experte en sécurité à l'université d'Anvers. « Cette rapidité permise par l'IA n'est pas neutre, reprend Anselm Küsters. En situation de crise, la différence entre une réponse calibrée et une escalade accidentelle peut se résumer à savoir si quelqu'un a eu cinq ou cinquante minutes pour réfléchir. » Outre la vitesse, cette nouvelle capacité à identifier les vulnérabilités d'un adversaire peut inciter à l'offensive. D'autant plus que la robotisation →

Analyse

dopée à l'IA permet toutes les audaces, «à l'image de l'opération Spider Web, le 1^{er} juin 2025, quand les Ukrainiens ont attaqué avec des drones des bombardiers stratégiques russes», rappelle Jules Palayer, du Sipri, le Stockholm International Peace Research Institute. «Cela pourrait aussi pousser l'adversaire à frapper de manière préventive, avant que ses faiblesses ne soient pleinement exposées par l'IA», évoque Sylvia Mishra, de l'Institute for Security and Technology, aux États-Unis.

Il reste toutefois difficile d'anticiper ce que seront les conséquences réelles de l'IA sur la stabilité mondiale. Les rapports et les études qui se bousculent depuis quelques mois mettent en avant aussi bien les possibilités offensives que défensives ouvertes par cette technologie émergente –laquelle promet, par exemple, de fulgurantes cyberattaques tout comme une cyberdéfense quasi impénétrable. «L'IA pourra très bien être pacificatrice, par exemple en assurant un meilleur contrôle du respect des traités de désarmement», avance Vincent Boulanin, chercheur au Sipri.

PLUS AGRESSIVES

Et puis cette faculté à détecter les menaces nucléaires potentielles, à l'image du système algorithmique Pathfinder, utilisé par la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord, a du bon: «Une plus grande clarté quant aux intentions de l'adversaire conduit généralement à de meilleures décisions, cela peut être stabilisateur», réfléchit Sylvia Mishra.

Mais l'intervention de l'IA va déjà bien au-delà des capacités de renseignement et de ciblage. Elle s'invite aussi dans les réflexions des diplomates et des états-majors. «Je suis persuadé que le commandement chargé des opérations américaines dans le golfe Persique

L'IA pourrait aussi être pacificatrice

Vincent Boulanin,
chercheur au Stockholm International
Peace Research Institute

a utilisé des modèles d'IA générative pour tester ses hypothèses stratégiques et tactiques», appuie Michael Klare. De fait, un mémorandum publié par le Pentagone début janvier indique que l'IA doit être placée au cœur de la planification militaire. Plusieurs expériences de laboratoire ont récemment démontré que les derniers modèles, comme GPT-5.2, Claude Sonnet 4 ou Gemini 3 Flash, affichent des raisonnements stratégiques élaborés: ils ont spontanément recours à la tromperie, ils sont capables de lire les intentions et les croyances de l'adversaire, etc. Lennui, c'est que, pour des raisons encore mal identifiées, ces IA se montrent souvent beaucoup plus agressives que leurs homologues humains et incapables d'entamer une désescalade. Une expérience de simulation de crise



nucléaire, publiée en février par un chercheur du King's College de Londres, montre que dans 95% des cas, les IA font usage de bombes nucléaires tactiques sur des cibles militaires... et que le scénario vire trop souvent au conflit atomique généralisé –les modèles de langage semblent utiliser ces armes comme de banals outils stratégiques, sans percevoir le tabou qui les entoure.

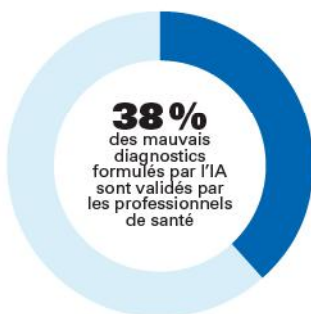
Heureusement, il n'est pas prévu de livrer les codes nucléaires à ChatGPT. Les États-Unis, la Chine, le Royaume-Uni et la France ont déclaré maintenir un contrôle humain dans la décision d'emploi de l'arme nucléaire. «Ce sont des engagements non contraignants, grimace Joshua Schwartz, du Carnegie Mellon Institute for Strategy and Technology. Durant la guerre froide, l'Union soviétique avait développé un système semi-autonome qui prenait le relais si les

Robots tueurs : le casse-tête de la réglementation

Le constat est sévère: «Le groupe d'experts sur les systèmes d'armes létales autonomes se réunit à l'ONU depuis 2014, et n'a produit aucun instrument juridique contraignant», tance Anselm Küsters. L'urgence d'établir un traité d'interdiction est sans cesse évoquée, mais l'unanimité paraît impossible. «Ces discussions semblent dépassées par les avancées technologiques, déplore Marijn Hoijtink. Les États-Unis ont déclaré miser sur l'IA pour renforcer leur légalité... Et on ne peut pas attendre grand-chose des entreprises de la tech.»

Les humains s'en remettent largement aux machines

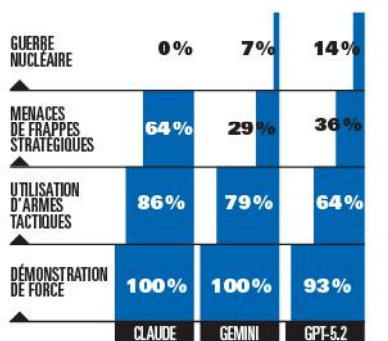
Les psychologues parlent de biais d'automatisation: même les experts tendent à privilégier les décisions de la machine, y compris quand elles sont erronées.



BIAS D'AUTOMATISATION
(dans le diagnostic médical)

Les IA favorisent l'escalade guerrière

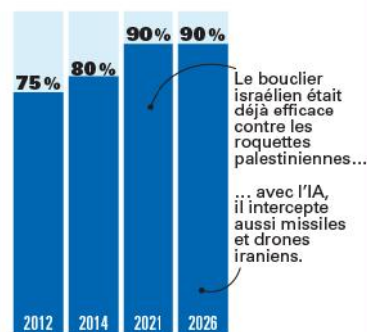
Ces modèles de raisonnement utilisés par les états-majors sont souvent très agressifs, ne cèdent jamais rien et n'hésitent pas à utiliser l'arme nucléaire.



SIMULATION D'UNE CRISE NUCLÉAIRE
(en % de l'ensemble des affrontements simulés entre IA)

Mais elles boostent aussi les systèmes de défense

Ces nouveaux algorithmes prévoient plus finement les trajectoires de roquettes ou de missiles, même lancés en grand nombre, pour mieux les intercepter.



TAUX D'INTERCEPTION
(par le système antimissiles israélien)

SOURCES: F. KÜCKING ET AL., GERMAN MEDICAL DATA SCIENCES, 2024; K. PAYNE, S, PREPRINT, 2026; TIMES OF ISRAEL; RAFAEL

hauts dirigeants avaient été éliminés par une première frappe nucléaire... Et ma dernière étude montre qu'un système autonome rendrait la menace nucléaire plus crédible et efficace, cela pourrait inciter à l'automatisation.»

Ces modèles ont déjà intégré plusieurs niveaux de commandement et de contrôle nucléaires

Sylvia Mishra, chercheuse à l'Institute for Security and Technology

Nous n'en sommes pas là. Pour le moment, le document de posture stratégique américaine sorti en 2025 se contente d'indiquer que le commandement en charge des armes nucléaires «utilisera l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique pour

faciliter et accélérer la prise de décision humaine». «LIA a d'ores et déjà intégré plusieurs niveaux de commandement, de contrôle et de communication nucléaires, constate Sylvia Mishra. Cela crée des risques considérables et sans

doute sous-estimés quand on sait à quel point ces systèmes sont vulnérables aux hallucinations, à l'empoisonnement des données... Il faudrait pouvoir mettre en

œuvre des protocoles de contrôle pour vérifier leur fiabilité, et assurer un certain degré de transparence quant à la manière dont elles sont intégrées par les États dotés de l'arme nucléaire.» «Oui, il faut favoriser des discussions franches et claires à ce sujet, insiste

Jules Palayer. Le danger serait qu'un État s'imagine trop à la traîne dans la course à l'IA nucléaire, et devienne enclin à prendre plus de risques.» Et l'expert français d'ajouter: «Les problèmes actuels ne viennent pas vraiment de la technologie en tant que telle, mais du manque de confiance et de coopération en ce moment entre les pays.» «Au-delà des algorithmes, les bombardements intenses auxquels on assiste sont aussi le fait d'une doctrine maximaliste des pouvoirs en place, qui prennent peu de précautions et veulent frapper vite et fort», complète Vincent Boulanin. Bref, l'ambiance actuelle n'est pas à la paix mondiale. Avec ou sans IA, les conflits risquent de toute façon de se multiplier.

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

Voici les cultures qui émettent le plus

Destruction des milieux naturels au profit des terres agricoles, utilisation croissante d'engrais ou de fumier... Les cultures voient leurs rendements augmenter, mais aussi leurs émissions de gaz à effet de serre.

PAR LÉA DESRAYAUD

SOURCE : PEIYU CAO ET AL, NATURE CLIMATE CHANGE, 2026

4,2% des émissions humaines de gaz à effet de serre, sont produites par les terres agricoles.

2/3 sont le fait de quatre cultures : riz (**43%**), maïs (**9%**), blé (**8%**), palmier à huile (**7%**)

↑ x1,5

La production des cultures a augmenté de **50%** entre 2000 et 2020 ; côté émissions la hausse a été de **17%**.

23% rien qu'en Chine, avec un taux moyen de **4** tonnes d'équivalent CO₂ par hectare, contre **2** en moyenne dans le monde.

273 fois plus Le protoxyde d'azote émis par le fumier et les engrais a un pouvoir réchauffant à 100 ans **10 fois** supérieur à celui du méthane.

Le soja est responsable de 14% des émissions des terres cultivées américaines. Il a tout de même la vertu de fixer l'azote de l'air, et réclame donc peu d'engrais synthétiques.



Ce sont ses résidus brûlés ou laissés au sol qui font de **la canne à sucre** une culture particulièrement émettrice, surtout au Brésil, premier producteur mondial.

Les émissions françaises sont majoritairement dues aux engrais, utilisés notamment dans **la culture intensive de blé**.

Près de 80 % des émissions agricoles thaïlandaises viennent **des rizières**, principales sources de rejets de méthane.

L'épandage de fumier est courant dans le centre de la Chine, où se côtoient **élevages porcins et cultures céréalières**. Avec, à la clé, des émissions massives de protoxyde d'azote.

Les terres cultivées au Maghreb semblent émettre peu de gaz à effet de serre, mais c'est aussi le fait d'**une agriculture peu intensive** aux rendements faibles.

Avec la croissance démographique, **l'agriculture de subsistance sur brûlis** empiète sur les tourbières tropicales, augmentant les émissions de la République démocratique du Congo.

Émissions de gaz à effet de serre par les terres cultivées, en tonnes par hectare par an



En Indonésie, les milieux humides sont asséchés au profit **du palmier à huile**; une monoculture qui contribue aux trois quarts du bilan carbone des terres cultivées du pays.

Labyrinthe

PAR LOUANE VELTEN, AVEC LÉA DESRAYAUD

SOURCES : ANSES, 2016 ; ECONOMICS & HUMAN BIOLOGY, 2023 ; SCIENCE, 2024 ; NAT. MED., 2025 ; PSYCHIATRY, 2024 ; ADEME, PLAN SUCRE 2024.

DÉJÀ, depuis mars 2025, le Nutri-Score note plus sévèrement aliments et boissons sucrés.

Une labellisation ?

Comme pour le gras, les industriels pourraient être contraints d'indiquer la part de sucres ajoutés.

CERTES, MAIS les lobbies ont fait supprimer ou baisser ces taxes au Danemark, en Finlande, en Norvège.

5 g/jour

C'est la consommation qui pourrait être évitée grâce à une taxe sur les boissons sucrées de 0,20 €/l.

1/3 des marques

ont reformulé leurs recettes pour réduire le taux de sucre.

Une taxe ?

Une trentaine de pays en ont mis en place sur les boissons sucrées. Dont la France, qui vient de le doubler le 1^{er} mars 2025.

Sur la biodiversité

Une des plus destructrices à l'échelle mondiale, selon WWF.

Sur les sols

Érosion, acidification, salinisation.

Un impact sur l'eau

Surtout la canne à sucre : 1 100 l/kg de sucre, contre 640 l pour la betterave.

POURTANT, recycler vapeur et déchets comme sources d'énergie réduirait jusqu'à 81% des émissions d'ici à 2050.

SURTOUT

les néonicotinoïdes, tel l'acétamipride, que la loi Duplomb voudrait autoriser en cas de menace sur la production sans alternative.

SAUF QUE, selon l'Inrae, il existe dans 96% des cas des solutions agronomiques, et dans 78% au moins une méthode alternative non chimique.

Émetteur de CO₂

Surtout au stade de sa transformation. 3% des émissions de gaz à effet de serre de l'industrie française viennent de ce secteur selon l'Ademe.

4,5 millions de tonnes

La France est le 1^{er} producteur de l'Union européenne, pour 95% à partir de betteraves.

Un impact environnemental

60 à 70% du sucre est produit à partir de cannes à sucre, le reste à partir de betteraves sucrières.

OUI, MAIS en 2024, l'Inrae a montré que l'insuline module l'activité de certains neurones, diminuant l'anxiété et améliorant la réponse aux antidépresseurs.

RESTE QU'avec l'âge, le sucre a des effets négatifs sur les fonctions cérébrales (mémoire, démence, y compris Alzheimer...).

Et sur le cerveau ?

SANS OUBLIER les caries, favorisées par les sucres libres : boissons, bonbons...

Pas vraiment d'addiction

Il libère de la dopamine et active les zones du cerveau associées à la récompense. Mais sans habitude ni intoxication.

Un antidouleur puissant

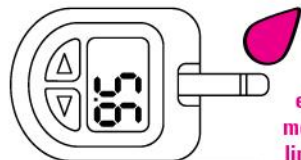
C'est prouvé chez les nouveau-nés : donner du sucre juste avant ou après un prélèvement sanguin réduit leur douleur.

Pas de lien avec l'hyperactivité

Aucune étude randomisée n'a établi d'impact sur le comportement ou l'attention des enfants, même chez les TDAH.

+21%

de risque de dépression en cas de surconsommation selon une méta-analyse.



Il est naturellement présent dans les aliments

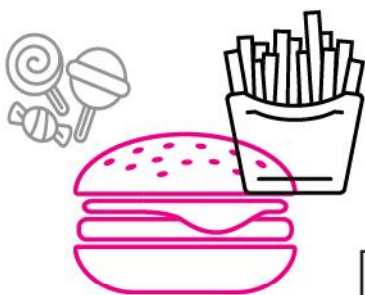
Sous forme de glucose dans le miel, les fruits; de fructose dans les légumes; de lactose et de galactose dans les produits laitiers; de saccharose dans le sucre de table; d'amidon dans les céréales...

Les industriels en mettent partout

Pour le goût, la conservation, comme agent pour la texture, la couleur...

77 %

des produits alimentaires en supermarché contiennent des sucres ajoutés, même les salés.



LE CASSE-TÊTE DU SUCRE

On sait qu'il donne des caries... mais pas seulement. Le sucre est pointé du doigt dans de nombreuses maladies et pour de potentiels effets sur le cerveau. Sauf qu'il y en a partout. Difficile de s'en passer? C'est tout l'enjeu des politiques de santé et des nouvelles taxations.



Une surconsommation

En France, 30% des adultes et adolescents dépassent les recommandations de l'Anses (100 g/j). Cela monte à 60% chez les 8-12 ans et 75% chez les 4-7 ans.

Beaucoup d'effets négatifs

+28 % du risque d'obésité pour une consommation de plus de 100 g/jour de sucre ajouté.

Le cas des boissons sucrées

Le sucre liquide n'est pas métabolisé par l'intestin: moins régulé, il s'accumule dans le foie.



Sur la santé métabolique

Le sucre consommé enfant entraînerait des modifications épigénétiques qui impactent la glycémie, le stockage de gras dans le foie, le taux de triglycérides sanguins...

2,2 millions de cas

de diabète de type 2 attribués aux boissons sucrées en 2020 (9,8% des cas).

SANS COMPTER

un lien entre sucre et cancer du sein, indépendamment de la prise de poids, selon NutriNet-Santé.

Sur le long terme

Une étude montre que les Anglais nés en 1939-45 (rationnés à 40 g/j) ont -14% de risque d'insuffisance cardiaque, -20% d'hypertension à 65 ans, -35% de risque de diabète de type 2 avant 65 ans.

1,2 million de cas

de maladies cardiovasculaires.

C'est dans l'air

L'HISTOIRE SE RÉPÈTE



Quand on abandonne une technologie

Le 31 mars 2026

Le début de la fin de la 2G

Les opérateurs Orange, Bouygues Telecom et SFR commencent à couper leur réseau de télécom mobile 2G. Tout devrait être déconnecté à la fin de l'année. En cause : un débit trop limité – de 1000 à 20000 fois moindre que la 4G et la 5G –, une trop grande consommation d'énergie et une trop forte vulnérabilité aux attaques. Cinq millions d'appareils sont concernés. La 3G subira le même sort à partir de fin 2028.

Le 4 août 2016

La VHS tirait sa révérence

L'entreprise japonaise Funai décide d'arrêter la vente de magnétoscopes et entraîne la disparition de l'objet phare des années 1980-1990 : la cassette à bandes magnétiques pour enregistrer et lire des vidéos. Cette technologie ne fait plus le poids face aux très fins DVD, qui offrent une meilleure qualité d'image et de son, une plus grande interactivité, se dégradent moins dans le temps... Bref, le progrès.

Le 30 novembre 2011

La télé analogique s'éteignait

Ce moyen de diffusion, qui avait fait son entrée dans les foyers à partir des années 1950, était concurrencé depuis les années 2000 par son équivalent numérique, la TNT – plus de chaînes, de meilleure qualité, moins d'interférences, etc. Région par région, en l'espace de quelques mois, 98,2% des téléspectateurs équipés d'un poste télé doivent changer de récepteur. Ou, au minimum, investir dans un décodeur.

Le 30 mars 1984

Le pneumatique disparaissait

À 17 h, une dernière lettre est expédiée à l'intérieur d'un réseau de tubes sous pression, qui a mesuré jusqu'à 450 km de long dans les sous-sols parisiens. Déployé dans plusieurs capitales depuis les années 1850, ce système de communication était considéré comme ultrarapide – moins d'une heure pour acheminer un message. Une ligne entre l'Assemblée et le Sénat est restée en service jusqu'en 2004. **M.V.**

À PART ÇÀ

De l'antimatière a voyagé dans un semi-remorque

« C'est un succès total », se réjouit le physicien des particules Stefan Ulmer, porte-parole de l'expérience BASE, pour Baryon Antibaryon Symmetry Experiment, au CERN. Pour la première fois, on a fait rouler des antiprotons. 92 exactement, sur un trajet d'environ 8 km à une vitesse maximale de 42 km/h autour du site du LHC, près de Genève. Le conteneur portatif conçu pour l'expérience, appelé piège de Penning, intègre un aimant supraconducteur à -268 °C et est soumis à un vide extrême de quelque 10^{-18} millibar, soit des pressions similaires à celles du milieu interstellaire. De quoi faire léviter le nuage d'antiprotons au centre du piège – la moindre collision avec la matière engendrant leur annihilation immédiate. « Or, tous les antiprotons ont survécu une fois le dispositif rebranché à son alimentation d'origine, applaudit le spécialiste de l'antimatière Jeffrey Hangst. C'est sans aucun doute un moment historique. » Mais pourquoi diable faire sortir de l'antimatière du LHC? Parce que c'est la meilleure façon d'éviter les perturbations magnétiques induites par ses nombreux dispositifs expérimentaux. « Et ainsi obtenir une mesure cent fois plus précise des constantes fondamentales des antiprotons, telles que la masse et le moment magnétique », espère Stefan Ulmer. C'est l'objectif du prochain voyage, prévu vers 2029, à destination du laboratoire de l'université Heinrich-Heine de Düsseldorf, à 800 km de Genève. **A.P.**



SHUTTERSTOCK - CHRISTIANE DELRICH / EPA PICTURE-ALLIANCE VIA AP

ET AUSSI



Baby-boom chez les kakapos

Début avril, on recensait 98 poussins vivants de ce perroquet nocturne, incapable de voler et qui se reproduit tous les 2 à 4 ans. Un record bienvenu pour cette singulière espèce néo-zélandaise, comptant seulement 236 adultes.



Finalement, 2024 YR4 ne percutera pas la Lune

Le risque de collision avec cet astéroïde d'environ 60 m de diamètre, le 22 décembre 2032, était évalué à 4%. Des mesures prises avec le télescope spatial JWST ramènent cette probabilité à zéro. Et pas de risque non plus pour la Terre.



On a découvert des Gaulois assis

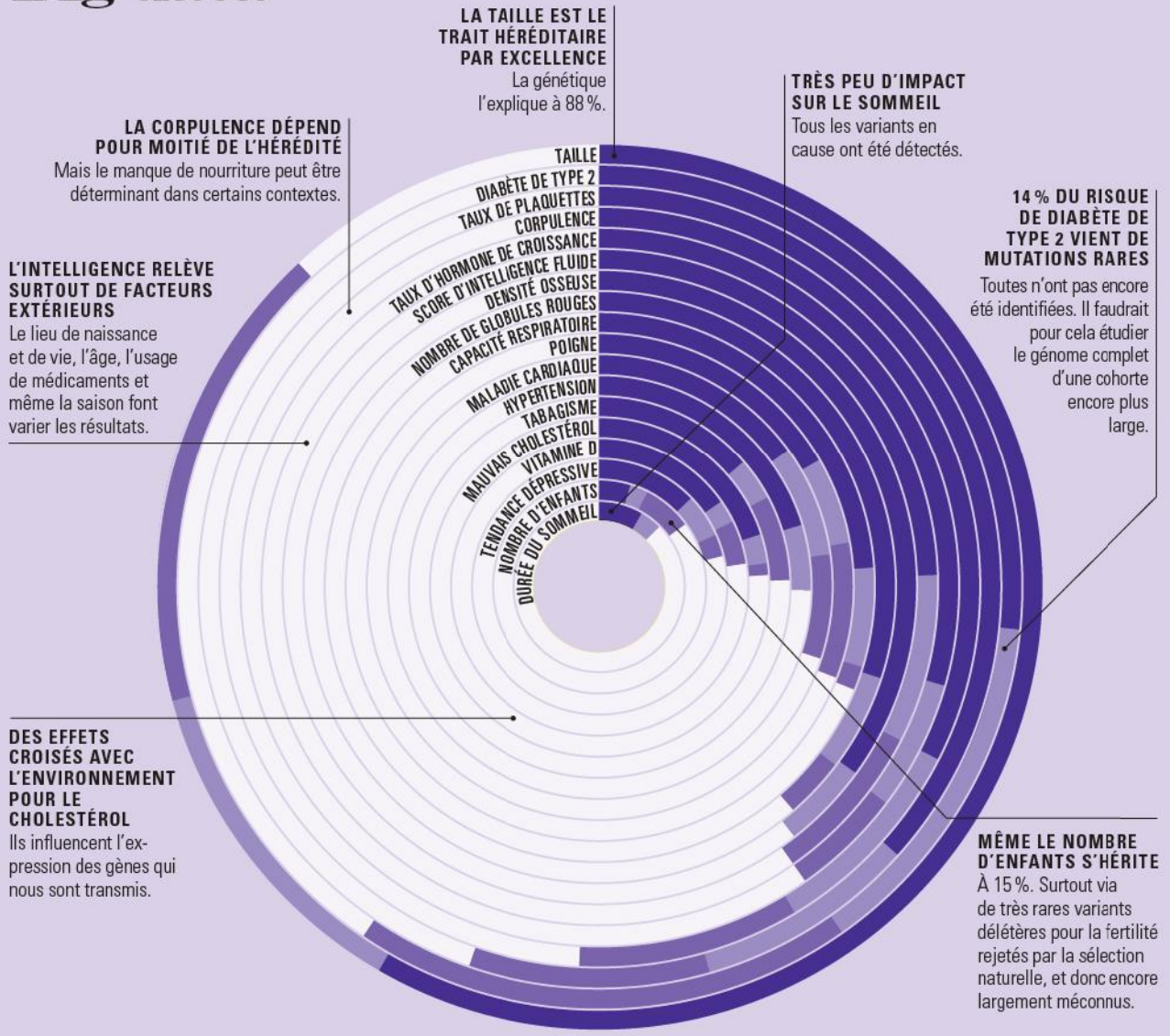
Des fouilles menées à Dijon ont révélé cinq défunts en position assise au fond de leur fosse, le regard tourné vers l'ouest – treize autres avaient été trouvés au même endroit en 2024. Des hommes adultes avec des plaies non cicatrisées. Mais que s'est-il passé?



Deux marsupiaux ressuscitent

Des phalangers pygmées à longs doigts et des planeurs à queue annelée ont été aperçus dans les forêts de Nouvelle-Guinée... alors qu'ils étaient censés avoir disparu il y a plus de 6 000 ans – les scientifiques n'avaient que des fossiles. Incroyable.

Big data



Tout n'est pas qu'une question de gènes

PAR LÉA DESRAYAUD

Rôle dans le développement de la maladie ou du trait, en %

- variants génétiques courants
- variants génétiques rares
- mécanismes génétiques encore inconnus
- facteurs non génétiques

D'où viennent ces données

Les généticiens se sont appuyés sur le séquençage de génome complet de 347 630 personnes pour estimer la contribution de plus de 40 millions de variants génétiques dans l'héritabilité de maladies et de traits complexes. Wainschtein *et al.*, *Nature* (2025).



epsilon

le magazine scientifique d'actualité

2 MOIS OFFERTS

Offrez (vous) un abonnement

Le mensuel + le hors-série



82 € /AN

ou

Le mensuel



59 € /AN

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 !



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



DOSSIER SPÉCIAL

ET MAINTENANT ?

34

ARTEMIS II EN IMAGES

40

RETOUR SUR UNE ANNÉE FOLLE

42

VERS LE SOL LUNAIRE

44

2028 ? MISSION IMPOSSIBLE

52

ET PENDANT CE TEMPS, EN CHINE...

54

UNE RUÉE MONDIALE

56

GÉOPOLITIQUE : LE GRAND RETOUR DE L'ENJEU LUNAIRE

PAR PIERRE-YVES BOCQUET, LÉA DESRAYAUD, SIMON DEVOS,
MATHILDE FONTEZ ET PIERRE MARTIN

« Après une brève interruption de 54 ans, la NASA reprend ses activités d'envoi d'astronautes sur la Lune »

Jared Isaacman, administrateur de la NASA



▲ Dernier tour de piste des quatre astronautes d'Artemis II, Jeremy Hansen, Victor Glover, Reid Wiseman et Christina Koch, avant l'embarquement, au Kennedy Space Center.

▶ 11 min de retard dues à un ultime problème technique : la fusée Space Launch System (SLS) décolle à 18 h 35, heure locale.





▲ C'est seulement le 2^e vol du SLS, vaisseau amiral de la NASA en construction depuis 2011.

▲ Après 8 min de poussée, le vaisseau spatial Orion et l'étage supérieur du SLS ont atteint l'orbite basse terrestre.

NASA - NASA/AUBREY GEMISNANI - UNITED LAUNCH ALLIANCE

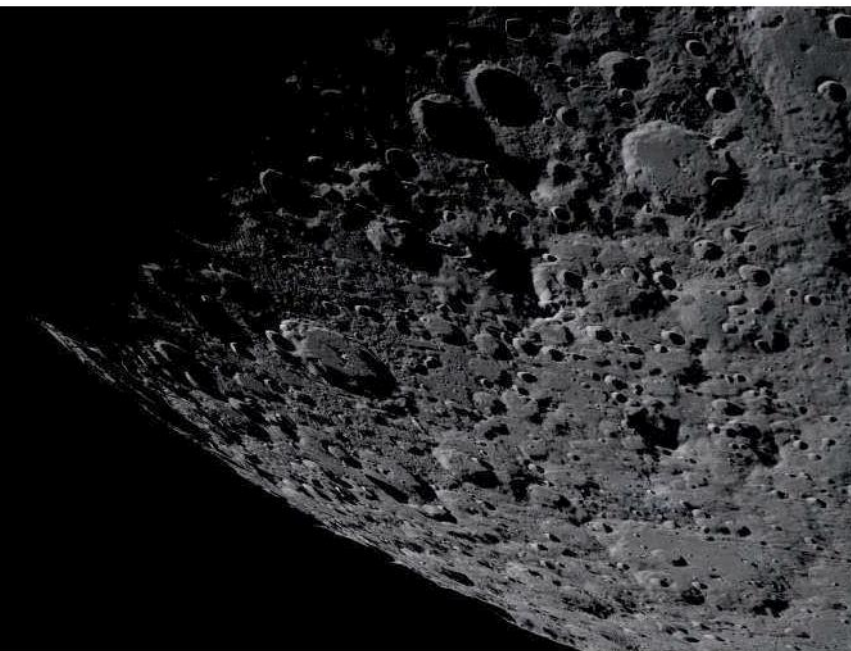
▶ Jour 3 : Christina Koch regarde par une fenêtre d'Orion.
« Rien ne prépare à la beauté époustouflante de notre planète illuminée comme en plein jour. »

▶ Jour 6 : ça y est, le vaisseau, désormais nommé Integrity, est passé du côté caché de la Lune.

▶ Les anneaux de la Mare Orientale, l'un des grands cratères d'impact les plus jeunes et les mieux préservés de la Lune.

▶ Le terminateur, ligne de frontière entre jour et nuit, a fasciné Victor Glover: *« C'est la chose la plus saisissante que j'aie vue. »*





NASA



***Bienvenue dans mon
ancien quartier!
Je sais combien vous
serez occupés.
Mais n'oubliez pas
d'admirer le paysage***

Jim Lowell, astronaute
d'Apollo 8 et 13. Enregistrement
posthume diffusé à l'équipage
d'Artemis II au matin du 6 avril



▶ Le 6 avril, à 18 h 41, heure de l'est des États-Unis, la Terre se couche au-dessus du limbe lunaire.



▶ 20 h 50 : la Lune passe devant le Soleil. « *Cela continue à être irréel* », souffle Victor Glover.



▶ L'expression de Buzz Aldrin ressurgit : la « *magnifique désolation* » lunaire se détache devant les nuages tourbillonnants de l'Océanie.



On se croirait dans un film de science-fiction. On peut voir la majeure partie de la Lune. C'est vraiment étrange...



Victor Glover, pilote d'Artemis II

COULISSES

RETOUR SUR UNE ANNÉE FOLLE

20 JANVIER 2025

OBJECTIF MARS !

« À compter de ce moment, le déclin de l'Amérique est fini. » Dans son discours d'investiture, Donald Trump ne parle pas de la Lune, et ne mentionne pas le programme Artemis qu'il a pourtant lui-même lancé lors de son premier mandat en 2017. Il ne pense qu'à la conquête de la Planète rouge: « Nous poursuivons notre destinée manifeste vers les étoiles, en lançant des astronautes américains pour planter notre bannière étoilée sur la planète Mars. »

6 MARS 2025

LA MÉGA-FUSÉE DE SPACEX SE CRASHE

Le Starship d'Elon Musk s'élançe pour un huitième essai... Mais après 8 min 40 de vol, les moteurs s'arrêtent, entraînant la perte de l'étage supérieur. Inquiétudes à la NASA:

cette fusée de 5000 t et 123 m est celle qui devra – moyennant des adaptations – envoyer des astronautes sur la Lune.

1^{ER} MAI 2025

LE TOUR DE LUNE SE PRÉPARE

Tout se passe bien au Centre spatial Kennedy, en Floride. Les équipes de la NASA assemblent l'étage de propulsion cryogénique sur le premier étage de la fusée SLS, qui doit emmener 4 astronautes faire le tour de la Lune. Les tests de communication commencent...

2 MAI 2025

LA NASA N'A PLUS LES MOYENS

L'annonce est brutale: la Maison Blanche ampute l'Agence de 4 milliards de dollars (25% de son budget). Le projet de station en orbite autour de la

Lune prévue vers 2028 est menacé. Tous les budgets sont en baisse, sauf celui de l'exploration habitée vers Mars, doté d'un milliard de dollars supplémentaires.

27 MAI 2025

LA MÉGA-FUSÉE DE SPACEX PLONGE

Cette fois, c'est le premier étage de la fusée Starship, issu pour la première fois d'une réutilisation, qui ne parvient pas à se reposer... Il s'abîme en mer. Le deuxième étage subit une fuite de carburant et une perte de contrôle – il réussit tout de même à mettre des similaires en orbite.

5 JUIN 2025

LE TORCHON BRÛLE ENTRE ELON MUSK ET DONALD TRUMP

Ils se traitent respectivement d'« ingrat » et de « fou » devant les caméras dans le bureau Ovale.

Deux jours plus tôt, Musk avait qualifié le projet de loi budgétaire d'« abomination répugnante ». La mission du patron de SpaceX auprès du président est finie.

26 AOÛT 2025

FIN DE LA SÉRIE NOIRE POUR SPACEX

Le dixième vol du Starship est un succès. Malgré les « milliers de défis techniques » qui restent à relever, Elon Musk savoure et se dit « confiant » pour la suite.

19 SEPT. 2025

ALERTE SUR LE PROGRAMME ARTEMIS

Suite à une visite chez SpaceX, l'Aerospace Safety Advisory Panel, chargé de veiller à la sécurité des opérations spatiales, déclare que l'atterrisseur qui doit poser des astronautes sur la Lune pourrait ne pas

être prêt à temps. Il s'inquiète aussi de la nouvelle combinaison spatiale...

2 OCTOBRE 2025

JEFF BEZOS VISE À SON TOUR LA LUNE

Le journal spécialisé *Ars Technica* révèle les plans du milliardaire pour son entreprise spatiale Blue Origin. Fort du premier test réussi de sa fusée New Glenn, en janvier, il revendique une architecture de mission plus simple pour les futures missions lunaires.

13 OCTOBRE 2025

NOUVEAU SUCCÈS POUR SPACEX

Le onzième vol du Starship se passe comme prévu.

18 OCTOBRE 2025

TOUT EST PRÊT POUR LE TOUR DE LUNE

Ça y est: le vaisseau Orion est fixé au sommet de la SLS. La fusée est complète.

20 OCTOBRE 2025

LA NASA ENVISAGE UN PLAN B

Actant le retard de SpaceX, l'administrateur intérimaire Sean Duffy annonce réouvrir la porte à Blue Origin, Lockheed Martin ou un autre pour construire l'atterrisseur qui ira sur la Lune.

26 NOVEMBRE 2025

L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE DÉFEND SON AUTONOMIE

L'ESA obtient une enveloppe budgétaire de 22 milliards d'euros pour 3 ans, en hausse de 30 % – la plus grosse augmentation de son histoire. L'équivalent d'un tiers du budget de la NASA.

30 OCTOBRE 2025

ELON MUSK ANNONCE UNE ARCHITECTURE DE MISSION SIMPLIFIÉE

Sous la pression de la NASA, il réfléchit... sans en dire plus.

13 NOVEMBRE 2025

LA FUSÉE DE JEFF BEZOS S'ENVOLE

Deuxième lancement parfait pour la New Glenn, en lice pour le programme Artemis. Il réussit même la récupération du premier étage, manœuvre que SpaceX était le seul à maîtriser jusqu'ici.

18 DÉCEMBRE 2025

FINALEMENT, TRUMP PRÉFÈRE LA LUNE

Par décret, le président confirme que c'est la priorité, avant Mars. L'échéance n'est plus 2027, mais « d'ici à 2028 », dans l'objectif d'y installer les éléments d'une base permanente à partir de 2030. Il s'agit « d'affirmer le rôle de leader des États-Unis dans l'espace, de jeter les bases du développement économique lunaire ».

20 DÉCEMBRE 2025

LES ASTRONAUTES D'ARTEMIS II ENFIENT LEURS COMBIS

Ils embarquent à bord de la capsule Orion, au sommet de la fusée SLS, pour un test de compte à rebours.

9 JANVIER 2026

LE LANCEMENT SE PRÉCISE

La NASA annonce trois fenêtres de tir pour Artemis II, en février, mars et avril.

16 JANVIER 2026

LA NASA RETROUVE SON BUDGET

Le Congrès vote finalement un budget quasi stable pour l'Agence : -1,61 %. La plupart des programmes sont sauvés.

30 JANVIER 2026

CAP SUR LA LUNE !

Blue Origin annonce mettre le tourisme spatial en pause pour se focaliser sur la construction de son atterrisseur lunaire Blue Moon et de son lanceur lourd New Glenn.

2 FÉVRIER 2026

ARTEMIS II CALE

Premier test de remplissage des réservoirs de la fusée SLS : 2,6 millions de litres d'hydrogène et d'oxygène cryogéniques. Une fuite est détectée. La cause : un joint Téflon défaillant. Le lancement est reporté au 6 mars.

8 FÉVRIER 2026

RE-CAP SUR LA LUNE !

Musk annonce sur X que Mars n'est plus sa priorité. Au lieu de coloniser la Planète rouge, son rêve depuis toujours, il prône désormais la construction d'une ville lunaire autonome.

13 FÉVRIER 2026

SOPHIE ADENOT S'ENVOLE VERS L'ISS

Cocorico ! Ce n'est pas la Lune, mais c'est déjà ça...

19 FÉVRIER 2026

ARTEMIS II CALE ENCORE

Retour sur le pas de tir pour la fusée : un second test de remplissage des réservoirs semble

concluant. Mais quelques jours plus tard, une fuite d'hélium est détectée au niveau de l'étage supérieur. Retour au bâtiment d'assemblage.

25 FÉVRIER 2026

NOUVELLE ALERTE POUR ARTEMIS

Sur la base des incidents rencontrés par Artemis I et II et du retard accumulé sur le Starship, l'Aerospace Safety Advisory Panel recommande à la NASA de restructurer son programme pour en réduire les risques.

27 FÉVRIER 2026

CHANGEMENT DE PROGRAMME LUNAIRE

La NASA ajoute une nouvelle mission avant le retour sur la Lune pour tester l'alunisseur et la combinaison. « Chaque étape doit être suffisamment importante pour progresser, mais pas au point de prendre des risques inutiles », justifie l'administrateur associé. La date du retour sur la Lune, elle, ne change pas : objectif 2028.

24 MARS 2026

NOUVEAU CAP POUR LA NASA

Dans une grande conférence de presse intitulée « Ignition » (allumage), le nouveau patron de l'agence, l'astronaute-

entrepreneur Jared Isaacman brosse ses ambitions pour l'avenir : Artemis est confirmé ; la base lunaire doit être construite d'ici 10 ans ; la Gateway, station en orbite autour de la Lune, est annulée (remettant en question les accords avec l'Agence spatiale européenne).

1^{ER} AVRIL 2026

L'ESA VA TENTER DE NÉGOCIER

« Nous avons un accord pour trois places dans les vols Gateway, je vais donc devoir m'asseoir avec l'administrateur Jared Isaacman pour négocier », déclare le président de l'ESA. Thomas Pesquet, pressenti pour être l'un des trois, doit suivre ça de près...

1^{ER} AVRIL 2026

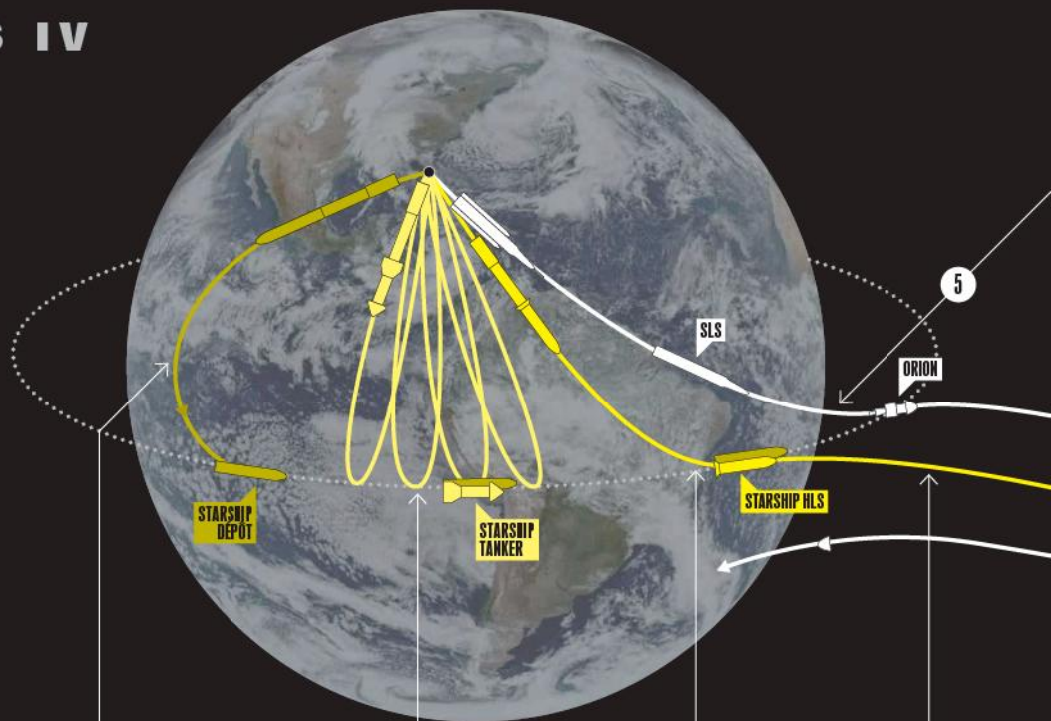
ARTEMIS II S'ENVOLE

À 18 h 35 heure locale, la fusée SLS décolle enfin de Cap Canaveral. « Je tiens à féliciter l'équipe de la NASA et nos courageux astronautes pour le succès du lancement d'Artemis II ; c'était un véritable exploit », salue Donald Trump quelques heures plus tard durant une allocution à la Nation, avant de passer à la guerre en Iran.

ARTEMIS IV

VERS
LE SOL
LUNAIRE

Artemis n'était qu'un galop d'essai. 50 ans après Apollo, le grand objectif de la NASA est de poser de nouveau des humains sur la Lune.



1

Mise en orbite d'un réservoir

Première étape : lancer une cuve en orbite, sorte de station-service pour ravitailler l'alunisseur qui décollera plus tard.

2

Plusieurs allers-retours pour le remplir

Un ou plusieurs tankers Starship ravitaillent la station-service en carburant. Plus d'une douzaine de voyages pourraient être nécessaires.

3

L'alunisseur décolle à vide

Le Starship Human Landing System (HLS) rejoint le réservoir en orbite basse et s'y amarre pour faire le plein.

4

Il voyage vers la Lune

Il lui faudra entre 3 et 5 jours pour rejoindre l'orbite lunaire.

4

astronautes participeront à la mission, mais seuls 2 se poseront sur la Lune.

2

mégafusées : la Starship Super Heavy d'Elon Musk et la fusée SLS de la NASA.

30

jours seront nécessaires aux astronautes pour effectuer l'aller-retour Terre-Lune.

40 000

kilomètres/heure : c'est la vitesse prévue de la capsule Orion au moment de son entrée dans l'atmosphère.

4 astronautes décollent

Ils embarquent dans la capsule Orion, propulsée par une fusée SLS ; 3 h 25 plus tard, arrivée en orbite basse, la capsule se détache.

Ils voyagent vers la Lune

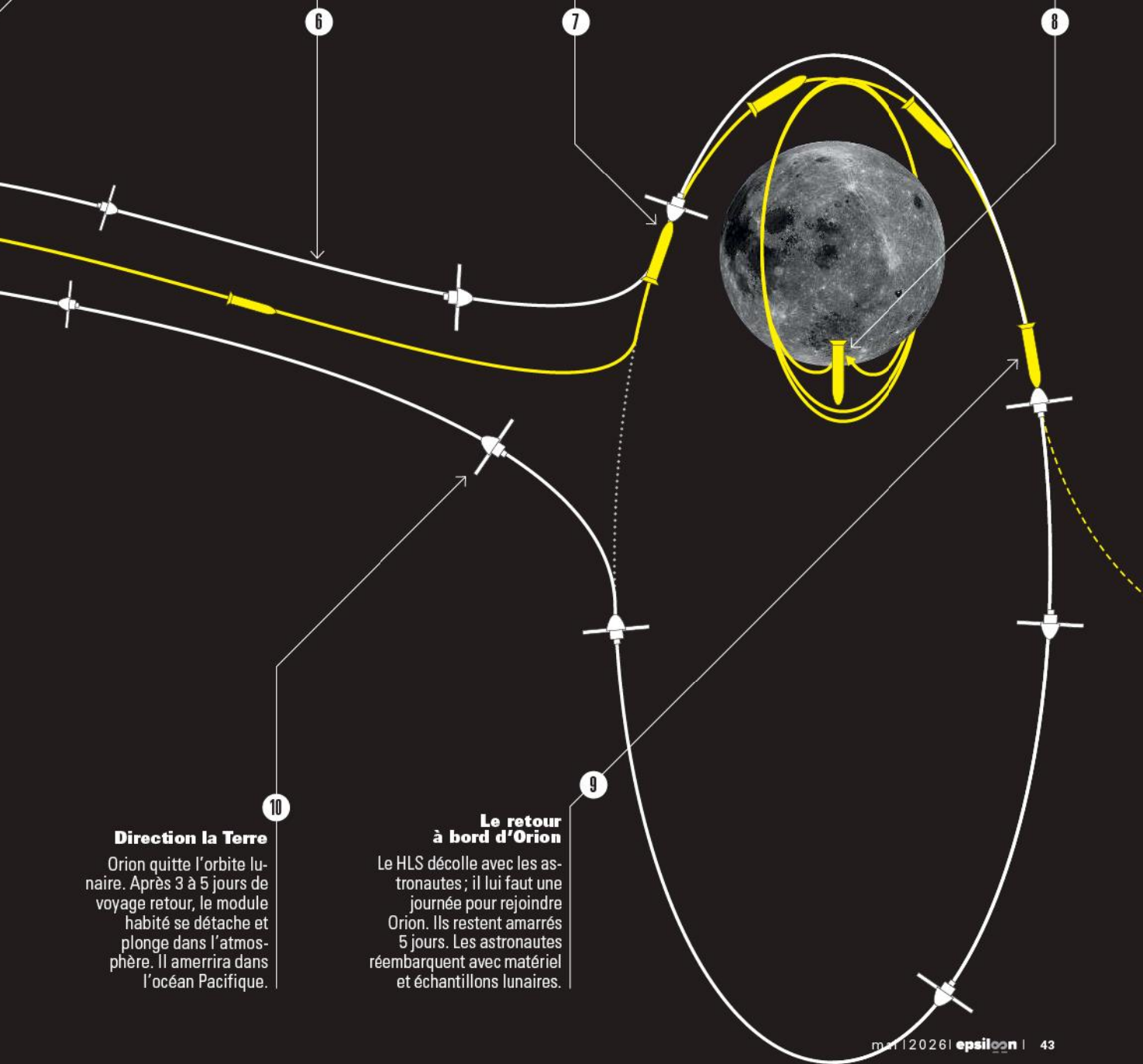
Orion emporte les astronautes ; le voyage dure entre 3 et 5 jours. Objectif : rejoindre l'alunisseur HLS.

2 astronautes passent dans l'alunisseur

La capsule s'amarré au HLS, qui embarque deux astronautes ; les deux autres restent en orbite.

ILS SE POSENT SUR LA LUNE

L'alunisseur HLS dépose les deux astronautes au pôle Sud pour une mission de 6 jours.



6

7

8

10

9

Direction la Terre

Orion quitte l'orbite lunaire. Après 3 à 5 jours de voyage retour, le module habité se détache et plonge dans l'atmosphère. Il amerrira dans l'océan Pacifique.

Le retour à bord d'Orion

Le HLS décolle avec les astronautes ; il lui faut une journée pour rejoindre Orion. Ils restent amarrés 5 jours. Les astronautes réembarquent avec matériel et échantillons lunaires.

ENQUÊTE

2028 ? MISSION IMPOSSIBLE

Objectif Lune ! Reposer le pied dans la poussière grise de notre satellite, faire des bonds à sa surface, des selfies avec la Terre, rapporter des roches en souvenir... Le grand retour a été lancé par Donald Trump lors de son premier mandat en 2017, dans le bureau Ovale, une petite figurine d'astronaute entre les mains. Puis la date a glissé : 2024, 2025, 2027... et finalement 2028, l'échéance fixée par le président américain en décembre dernier.

Sur le papier, tout est calé : la fusée SLS qui emporte les astronautes en orbite, la capsule Orion qui les

propulse vers la Lune comme lors de la mission Artemis II ; une seconde fusée, le Starship Human Landing System (HLS) de SpaceX, qui pose les astronautes sur le sol lunaire...

AMBIANCE TENDUE

Mais dans la réalité, dans les hangars d'Elon Musk, les laboratoires de la NASA, les bureaux des décideurs, l'ambiance est plutôt tendue. Preuve de la fébrilité qui règne, la NASA vient d'ajouter dans la précipitation, en février dernier, une nouvelle mission au programme, Artemis III, calée entre Artemis II et le retour sur la Lune, désormais rebaptisé Artemis IV : en 2027, il s'agira pour SpaceX, mais aussi Blue Origin de Jeff Bezos et Axiom, l'entreprise qui fabrique la combinaison spatiale, de démontrer que leurs technologies sont opérationnelles.

« Progresser vers les objectifs selon une approche logique et par étapes est la manière dont nous avons accompli ce qui semblait presque impossible en 1969, et c'est ainsi que nous y parviendrons de nouveau », s'est justifié Jared Isaacman, ancien astronaute fraîchement nommé administrateur de la NASA.

Oui, mais 2028 c'est demain. « Si le moindre domino tombe à partir de maintenant, cela va rendre les choses compliquées », prévient Bernard Foing, professeur à l'université de Leiden, aux Pays-Bas, et ex-conseiller du directeur général de l'Agence spatiale européenne. « Pas une seule étape d'Artemis ne s'est déroulée dans les temps jusqu'ici », rappelle Maria Lily Shaw, consultante au cabinet de conseil Novaspaces.

Certes, le tour de Lune s'est bien passé. La mission Artemis II a atteint ses objectifs, les astronautes Reid Wiseman, Victor Glover, Christina Koch et Jeremy Hansen sont entrés dans



Si le moindre domino tombe à partir de maintenant, cela va rendre les choses compliquées

Bernard Foing, ex-conseiller du directeur général de l'ESA, professeur à l'université de Leiden





NASA

l'histoire: ils ont vu la face cachée, ils se sont aventurés plus loin de la Terre qu'aucun humain avant eux... Mais reposter le pied sur la Lune est une tout autre affaire. Surtout avec la mission prévue: une architecture alambiquée prévoyant deux lanceurs, de multiples rendez-vous en orbite terrestre et lunaire, des manœuvres inédites... *«D'un truc simple, on a fait un truc compliqué avec une cote mal taillée pour satisfaire tout le monde, et on obtient un programme Frankenstein qui ne ressemble plus à grand-chose»*, tacle Xavier Pasco, directeur général de la Fondation pour la recherche stratégique. C'est

le résultat de vingt ans d'histoire spatiale: la conception tordue de la fusée SLS rescapée des cendres du programme Constellation, lancé par George W. Bush en 2004 puis annulé; l'arrivée dans le jeu de SpaceX durant le mandat de Barack Obama, avec l'idée de son Starship, la fusée la plus grande et la plus puissante jamais construite...

RIEN N'EST PRÊT

«On pourrait imaginer que le Starship HLS parte directement se poser avec les astronautes sur la Lune, en version fusée de Tintin, sans passer par le duo SLS-Orion.

Mais c'est un schéma qui serait compliqué pour la NASA, qui a besoin d'utiliser ces matériels qui ont coûté très cher au contribuable, et qui génèrent des emplois dans de nombreux États américains», analyse Christophe Bonnal, expert du sujet et membre de l'Académie de l'air et de l'espace. 50 milliards de dollars jetés par la fenêtre? Impossible.

Et voilà la mission qui flirte désormais dangereusement avec deux lignes rouges: la fin du mandat de Donald Trump, qui aimerait épingler ce succès à son palmarès avant son terme, en janvier 2029. Et le premier pas d'un astronaute →

▲ Transfert de carburant entre un Starship tanker (en bas) et un Starship dépôt (vue d'artiste)



chinois sur la Lune, annoncé pour 2030: pas question pour les Américains de laisser la Chine prendre pied seule sur notre satellite. La marge d'erreur se réduit considérablement... Et rien n'est prêt.

À deux ans de l'échéance, le Starship HLS est encore une vue d'artiste –alors que l'étape clé de la *critical design review*, durant laquelle la NASA doit vérifier que le cahier des charges est respecté, est en principe prévu pour août 2026. La fusée qui le préfigure accumule les déboires. Après trois échecs sur cinq essais en 2025, son premier étage n'a toujours pas atteint l'orbite... «*On en est au douzième vol de test et Starship n'a fait qu'effleurer l'espace, avec des performances assez éloignées de ce qui était espéré*», grimace Francis Rocard, du CNES.

Sachant que SpaceX doit développer plusieurs modèles de fusées en

parallèle: l'alunisseur, mais aussi des versions «dépôt» et «tanker» nécessaires à son ravitaillement en carburant. «*Les versions dépôt et alunisseur ne reviendront pas sur Terre, et devront stocker du carburant pendant de longues périodes, ce qui rend leur design très différent de la version de base du Starship, destinée à l'orbite basse*», souligne Marcos Fernandez-Tous, professeur en propulsion spatiale à l'université du Dakota du Nord. «*Le HLS n'a de commun avec le Starship que le nom*», résume Christophe Bonnal.

DEUX MILLIARDAIRES

Un flottement qui met la NASA sur des charbons ardents. Les premiers signes de fébrilité sont apparus fin 2025. À la suite d'une visite des installations de SpaceX en septembre, les inspecteurs de

l'ASAP, un organisme indépendant et influent mis sur pied après l'accident tragique d'Apollo 1, arrivent à la conclusion que le retard du HLS risque fort de mettre en péril tout le programme. Pointant un nombre trop important d'étapes n'ayant jamais été testées, l'ASAP conclut que les progrès nécessaires pour que cet alunisseur soit prêt «*semblent redoutables et probablement irréalisables dans les délais impartis*». Et recommande dans son rapport publié fin février «*que la NASA réexamine l'architecture du programme afin d'établir une approche plus équilibrée du risque*». Dès octobre, arrivant aux mêmes conclusions, l'Agence spatiale américaine avait d'ailleurs pris les devants, en prenant la décision de remettre SpaceX en concurrence avec Blue Origin. Les deux milliardaires devaient se →

LA GRANDE INCONNUE DU TRANSFERT DE CARBURANT EN ORBITE

C'est une particularité de la mission Artemis, une étape inédite qui pourrait faire dérailler l'ensemble du projet : la nécessité pour le futur alunisseur de refaire le plein en orbite terrestre, avant de poursuivre son trajet. « *L'un des défis techniques les plus importants du programme* », soulignait en mars dernier le Bureau de l'inspecteur général de la NASA. La manœuvre sera une première : Apollo n'y avait pas eu recours en son temps.

« *L'alunisseur de SpaceX est un énorme engin de plus de 50 m de hauteur, bien plus lourd que les 15 tonnes d'Apollo, ce qui complexifie singulièrement l'affaire* », résume Francis Rocard, en charge des programmes d'exploration du Système solaire au CNES, l'Agence spatiale française. Elon Musk a prévu large, son Starship Human Landing System (HLS) pourrait peser plus de 100 tonnes à vide, pour embarquer les vivres, l'eau et le matériel nécessaires à deux astronautes pendant une semaine à la surface de la Lune (la mission Apollo la plus longue n'y avait séjourné que trois jours). Auxquels s'ajoutent plus de 1 000 tonnes de carburant qu'il faut arracher à la gravité terrestre. « *Le HLS pourrait sûrement atteindre la Lune*

d'une traite, mais il lui resterait alors trop peu de carburant pour se poser et redécoller », évalue Marcos Fernandez-Tous, spécialiste en propulsion spatiale à l'université du Dakota du Nord.

Il faut donc refaire le plein. Sauf qu'on est très loin de la pompe à essence. La fusée carbure au méthane et à l'oxygène, des gaz liquéfiés pour occuper moins de place et donc maintenus à des températures cryogéniques (-161 °C pour le méthane, -183 °C pour l'oxygène). Une contrainte difficile à tenir sur un pas de tir, mais carrément cauchemardesque dans les conditions spatiales, selon Alih John Eko, chercheur en ingénierie à l'université du Southern Queensland, en Australie, auteur d'une revue sur le sujet publiée début 2026 : « *L'orbite terrestre crée un mélange de problèmes thermiques et de physique des fluides très différents de ceux rencontrés au sol : le rayonnement infrarouge de la Terre et la chaleur du Soleil provoquent des flux variables et des gradients de température dans le réservoir. Sans parler du transfert de carburant, qui n'est pas juste un problème de plomberie.* » À la moindre hausse de température, une partie des ergols forme du gaz qu'il faut

évacuer pour éviter d'augmenter la pression du réservoir. Et c'est autant d'énergie jetée par la fenêtre. Évidemment, des pistes sont à l'étude pour développer des boucliers thermiques, des réservoirs superisolants ; des dispositifs pour recondenser les gaz... Mais ce n'est pas là le seul problème : comme les pertes sont inévitables, il faudra plusieurs lancements de Starship pour remplir le grand réservoir qui

enchaîner les tirs, et dans un contre-la-montre infernal, puisqu'il faudra remplir le réservoir plus vite qu'il ne se vide. SpaceX a d'ailleurs prévu de se doter de deux pas de tirs supplémentaires pour soutenir la cadence, augmentant d'autant les risques. « *Si une mission de refueling nécessite N lancements + N amarrages + N transferts d'ergols réussis, la probabilité globale de succès peut devenir très faible* »,



Elon Musk a été archi-optimiste, le problème du Starship, c'est qu'il faut le remplir à la petite cuillère

Christophe Bonnal,
de l'Académie de l'air et de l'espace



fera office de station-service orbitale. Combien ? Quatre à huit maximum, pronostiquait Musk sur Twitter en 2021. Une petite vingtaine, estimait une responsable de la NASA en 2023. « *Le nombre est quelque peu ambigu, mais il pourrait être d'au moins douze* », jugeait en février dernier le Groupe consultatif sur la sécurité aérospatiale. En réalité, impossible de savoir avant d'avoir essayé. Il faudra donc

prévenir Alih John Eko. Musk avait promis ses premiers essais de refueling en orbite pour mars 2025, avant de les reporter à mars 2026... sans que l'on n'ait toujours rien vu venir. « *Il a vendu à la NASA le fait que c'est trivial*, résume Christophe Bonnal, de l'Académie de l'air et de l'espace. *En vrai, c'est archi-optimiste. Le problème du Starship, c'est qu'il faut le remplir à la petite cuillère.* »

partager les missions : à Musk les deux premiers allers-retours d'astronautes sur la Lune ; à Bezos la mission Artemis V... Tout à coup, l'Agence rouvre le jeu et réclame des missions simplifiées.

PAS DE PLAN B

Mais le temps manque. « *Je crains qu'il n'existe aucune alternative crédible prête à temps*, réagit Maria Lily Shaw. *La seule façon serait de réduire le temps que les astronautes passeront à la surface de la Lune, rendant possible un alunisseur "tout-en-un" plus simple, à la manière d'Apollo. Mais il n'existe pas de tel véhicule qui puisse être testé, adapté et approuvé dans les temps.* » C'est aussi l'avis des experts de l'ASAP, qui estiment dans leur rapport qu'« *il est à l'heure actuelle difficile d'imaginer un autre contractant que SpaceX capable de relever un défi d'une telle ampleur à un tel rythme* ».

Faute de plan B, et avec le calendrier qui se comprime, la NASA joue gros. Au niveau de la sécurité des astronautes tout d'abord. L'Agence se fixe en principe un plafond de risque de perte d'équipage de 1 sur 40 pour les opérations →



C'est le modèle américain lui-même qui est en jeu, ça pourrait devenir une affaire d'État

Xavier Pasco, directeur général de la Fondation pour la recherche stratégique



LE CASSE-TÊTE DU RENDEZ-VOUS LUNAIRE

Certes, on peut estimer que SpaceX maîtrise le sujet : ne pratique-t-il pas un rendez-vous orbital à chaque fois que l'une de ses capsules Dragon vient s'arrimer à l'ISS, deux à trois fois par an, pour la ravitailler ou relever l'équipage ? Oui, sauf que se donner rendez-vous à 400 km de la Terre ou à 380 000, ce n'est pas la même chose. « *Les opérations de docking sur l'ISS sont rendues possibles grâce au GPS. Or il n'y a pas de GPS sur la Lune* », souffle Ludovic Duvet, à l'ESA. Par ailleurs, si des rendez-vous en banlieue

lunaire ont déjà eu lieu (pour les sept missions Apollo qui se sont posées, et la mission chinoise de retour d'échantillons Chang'e 5 en 2020), cela n'a pas grand-chose à voir avec Artemis : les rendez-vous ont eu lieu après redécollage de la Lune, pour rejoindre un module orbital, et pas directement après une injection depuis la Terre, ce qui change la donne en matière de trajectoire et de vitesse. Sans compter que ces missions ont suivi une orbite lunaire très différente de celle retenue par la NASA pour Orion.

« *Artemis ne va pas utiliser l'orbite basse lunaire des missions Apollo, à près de 100 km d'altitude, qui a l'inconvénient de rester au niveau équatorial. L'orbite retenue passe au contraire par les deux pôles, dont le Sud visé par la NASA. C'est un choix rusé, sauf qu'elle est elliptique : elle survole la Lune entre 1 000 et 70 000 km. Il faut que les systèmes de communication et de navigation des deux véhicules fonctionnent parfaitement* », détaille Christophe Bonnal. À vrai dire, un seul véhicule a déjà volé sur cette orbite à ce jour :



▲ Starship HLS et Orion (vue d'artiste)

la sonde Capstone lancée en 2022 dans le cadre d'Artemis. Et ce n'est pas tout, puisqu'au retour, après le redécollage, l'alunisseur devra effectuer toute la manœuvre en sens inverse, et donc réussir un second rendez-vous avec Orion restée sur son orbite, pour que les deux astronautes rejoignent leurs camarades restés dans la capsule. Le tout sans essai à l'aide d'engins sans équipages, comme s'en émuait en mars le dernier rapport du Bureau de l'inspecteur général de l'agence : « La NASA n'a toujours pas exigé que les prestataires démontrent un retour et un amarage avec Orion en orbite. »

LE DÉFI DE LA COMBI

Les retards et défis posés par l'alunisseur feraient presque oublier l'autre bug du programme Artemis : la combinaison spatiale. « On n'en parle plus trop en ce moment, mais c'est extrêmement complexe », alerte Francis Rocard. Impossible de repartir de la légendaire A7L d'Apollo : avec Artemis, les astronautes iront explorer des environnements encore plus sévères, au pôle Sud de la Lune. La combinaison devra supporter des écarts de températures de -173°C à 127°C pendant huit heures, et résister à -243°C pendant deux heures, pour explorer le fond des cratères gelés...

Le contrat a été passé en 2022 avec l'entreprise Axiom Space, qui a présenté son modèle en 2024... mais le planning reste serré, voire « agressif », dit les membres de l'Aerospace Safety Advisory Panel, qui alertaient fin 2025 : « Tout retard dans la livraison de ces programmes met l'alunissage prévu en péril, risquant son report. » Officiellement pourtant, tout se passe bien : les tests sont en cours à la NASA. Essais en piscine, sous vide... dont plus de 850 heures avec des astronautes, selon Axiom. La qualification de la version définitive devrait commencer avant la fin de l'année.

Mais le témoignage de l'ancienne astronaute Kathleen Rubins, qui a eu l'occasion de porter la tenue, apporte un autre son de cloche. Premier problème : elle pèserait actuellement près de 136 kg — contre 84 kg pour l'A7L d'Apollo. Même si la faible gravité lunaire (six fois moindre) la rendra un peu plus légère, le handicap reste sensible et a lassé l'ex-astronaute « épuisée », selon les déclarations recueillies par *Ars Technica*

« Je pense que les combinaisons sont meilleures que celles d'Apollo, mais avec encore beaucoup de problèmes de flexibilité. Se pencher pour ramasser des roches est difficile. Le centre de gravité pose problème. Les gens vont tomber. Et si vous essayez de vous agenouiller ou de vous pencher en avant, tout le matériau n'a nulle part où aller, alors il se comprime et se comprime... C'est difficile. »

« **Se pencher est difficile, le centre de gravité pose problème, les gens vont tomber...** »

Kathleen Rubins, ancienne astronaute qui a testé la combi d'Axiom Space

fin janvier. « Notre conception robuste intègre davantage de dispositifs de sécurité que toute autre combinaison spatiale jusqu'ici », justifie Axiom, tout en gardant le poids exact confidentiel. Surtout, malgré l'accent mis sur la mobilité (un des points faibles de l'A7L), la combinaison serait très loin d'offrir l'équilibre et le confort nécessaires pour travailler huit heures durant sur la Lune :

En plus d'être épuisée, la testeuse est sortie du scaphandre couverte de bleus. Reste enfin à faire passer à la combinaison l'épreuve de résistance à l'usure de la poussière lunaire, le redoutable régolite aux pointes si acérées qu'elles avaient failli transpercer les combinaisons de la mission Apollo 12. Axiom le reconnaît : le test n'a toujours pas été réalisé...

lunaires, selon l'ASAP. Or, un responsable de la mission Artemis II a avoué en mars lors d'un briefing que, vu le faible nombre de tirs réalisés avec le SLS, ce risque est probablement plus élevé, proche du 1 sur 10 d'Apollo. SLS et Orion n'auront, il est vrai, volé que trois fois avant le retour sur la Lune de 2028. « C'est assez peu pour une mission de cette importance », glisse Xavier Pasco.

DÉFI EXISTENTIEL

Quel niveau de tolérance l'Agence américaine sera-t-elle prête à accepter pour compresser le temps tout en restant fidèle à ses exigences de sécurité? « C'est tout l'enjeu des prochains mois, estime Xavier Pasco. Avec les contraintes de calendrier, c'est toute la culture de la NASA qui est sous tension. Si elle échoue dans ce rôle, elle perd la dernière prérogative qui lui reste. Le modèle américain lui-même est en jeu: l'Administration a revendiqué haut et fort sa volonté de retourner sur la Lune avant la Chine. Si elle n'y parvient pas, ça pourrait devenir une affaire d'État, comme quand l'URSS avait été la première à mettre un satellite en orbite. Ce serait une remise en cause quasi existentielle pour les États-Unis. »

Alors, quelles sont les chances de réussite en 2028? Les réponses oscillent entre « tout peut arriver » et « pas du tout crédible ». « C'est possible, mais très ambitieux », résume Scott Pace, directeur du Space Policy Institute de l'université George Washington. D'autant qu'il reste une inconnue de taille, comme le rappelle Bernard Foing: « Les Chinois ont annoncé 2030. Mais il n'est pas exclu qu'ils y arrivent avant. »

LE CAUCHEMAR DE L'ALUNISSAGE

À première vue, se poser sur la Lune peut sembler la partie la plus facile de l'aventure, puisque la manœuvre a déjà été réalisée maintes fois – sept lors du programme Apollo et à moult reprises depuis par des sondes automatiques. La réalité est pourtant moins triviale. À commencer par les contraintes liées à la région ciblée par Artemis: le pôle Sud, près du cratère Shackleton. Une zone peu explorée et donc intéressante scientifiquement, susceptible de contenir d'importantes quantités d'eau qui pourraient être exploitées dans le cadre d'une base permanente.

Sauf que cette zone est peu propice aux atterrissages, comme l'a rappelé en mars le rapport du Bureau de l'inspecteur général de la NASA: « Un terrain accidenté et irrégulier, parsemé de rochers dépassant 20 m de diamètre et de profonds cratères, domine le paysage, contrairement aux vastes plaines visitées lors des missions Apollo. [...] Des dangers tels que des blocs rocheux ou des monticules trop grands, ou des dépressions trop profondes pour les jambes d'atterrissage et leur

conception en termes de stabilité. » Voilà pour le décor. « Le choix du site d'alunissage est l'un des points critiques, et nous faisons beaucoup de simulations pour étudier le comportement du véhicule en fonction de son centre de gravité », témoigne Dario Saïa, responsable de l'alunisseur européen Argonaut, chez Thales Alenia Space qui visera la même région en 2031.

Justement, les alunisseurs d'Artemis accusent un gros handicap par rapport à Argonaut et Apollo: leur taille. 52 m pour la fusée

faiblement éclairée, paraît douteuse », taclait le groupe d'experts de l'ASAP en février. Une contrainte qui a conduit la NASA à fixer à 8° l'inclinaison maximale. « Avec son centre de gravité élevé, une partie des ergols ayant été consommés à l'aller, le Starship HLS pourrait basculer s'il rencontre le même problème qu'Apollo 15, qui s'était posé incliné de 11° », estime Francis Rocard. Un autre sujet d'inquiétude est pointé par les inspecteurs de la NASA: SpaceX n'a pas prévu que

« Avec son centre de gravité élevé, le Starship HLS pourrait basculer »

Francis Rocard, astrophysicien au Centre national d'études spatiales

de Musk, l'équivalent d'un immeuble de 15 étages; 16 m pour la fusée de Bezos... Contre 7 pour Apollo. « La physique consistant à poser un véhicule dont le rapport hauteur-largeur est de six pour un sur la surface lunaire polaire, irrégulière et

l'alunissage puisse se faire en mode manuel. Comme cela s'est produit, précisent-ils, lors des sept alunissages habités d'Apollo, pour éviter des obstacles à la dernière minute. Un manquement jugé critique par la NASA, qui fait l'objet d'intenses



débats avec SpaceX, et qui pourrait faire déraiser le calendrier. L'alunissage sera de toute façon délicat, même sur sol plan, car les véhicules eux-mêmes pourraient nuire à leur propre stabilité, prévient Ryan Nicole Watkins, chercheuse au Bureau d'intégration et de stratégie des sciences de l'exploration de la NASA: «*Le risque est que ces véhicules provoquent des panaches de poussières assez puissants pour creuser des cratères. Suivant les configurations de moteurs, les particules pourraient aussi percuter l'atterrisseur.*» «*Sur*

Apollo, confirme Christophe Bonnal de l'Académie de l'air et de l'espace, *on a découvert après coup un trou dû à un impact dans une tuyère, qui heureusement ne servait pas au redécollage.*» Selon les premières images disponibles du Starship, SpaceX a prévu de placer ses moteurs en hauteur et de les incliner pour minimiser le phénomène, sans que l'on puisse anticiper avec quel succès. «*On ne sait pas non plus comment le terrain du pôle Sud réagira, étant donné qu'il est plus froid et contient probablement davantage d'éléments volatils*

que les zones sur lesquelles nous avons déjà aluni, reprend la chercheuse. Les particules pourraient même atteindre la vitesse de libération, et représenter un danger pour les engins spatiaux en orbite.» Les essais sans équipage demandés par la NASA d'ici à 2028 permettront sans doute d'affiner les prévisions. Mais ils ne leveront pas un autre doute: s'assurer qu'en cas d'inclinaison, les astronautes pourront descendre du véhicule. Car avant de fouler le sol lunaire, ils devront emprunter un monte-charge suspendu

à deux câbles pour descendre les 35 m, «*une hauteur supérieure à celle de la statue de la Liberté, soulignent les inspecteurs, tout en s'inquiétant qu'il n'existe actuellement pas d'autre moyen pour l'équipage d'entrer dans le véhicule en cas de panne de l'ascenseur.*» La NASA travaillerait avec SpaceX sur une solution de secours. Des échelons rétractables, comme sur la fusée de Tintin? Plus sérieusement, Blue Moon (beaucoup moins haut) a prévu un escalier de 2 m de hauteur, dans l'esprit Apollo.

▲
Starship
HLS (vue
d'artiste)

L'EXPLOIT

ET PENDANT CE TEMPS, EN CHINE...

Le défi était sans précédent, mais l'exploit qui a suivi envoya un signal clair aux Américains: ils sont talonnés par leur principal concurrent asiatique. C'est le constat dressé au matin du 11 février par Zhu Pingping, concepteur en chef de la CZ-10 à la Société de sciences et technologies aérospatiales de Chine, lorsque cette super-fusée s'est élevée dans les airs depuis la base de Wenchang, sur l'île de Hainan. Il ne s'agissait que d'un essai de basse altitude, mais il a officialisé la capacité des Chinois à envoyer dans l'espace leur propre lanceur super lourd: la CZ-10 est l'un des rares concurrents des géants américains impliqués dans la mission Artemis. Une performance d'autant plus significative que la fusée était chargée du vaisseau Mengzhou, conçu pour envoyer les taïkonautes jusqu'à la Lune. Le grand bond chinois pour l'humanité se précise.

Tout se passe comme prévu et cela devrait continuer. Pour Blaine Curcio, fondateur d'Orbital Gateway

Consulting, «les progrès chinois depuis la première mission Chang'e, en 2007, sont très impressionnants. Les calendriers ont toujours été solides et je ne m'attends pas à ce que ça change». «La Chine n'est pas dans une logique de course, abonde Mathieu Grialou, représentant du CNES à Pékin. Elle a ses plans et les déroule sans trop se soucier de ce qui se passe autour.» Alors que la NASA tergiverse sur ses objectifs (Lune? Mars?) et s'empêtre dans les retards techniques, l'Administration spatiale nationale chinoise rattrape le retard

doublait d'une inversion historique des rôles: les chercheurs occidentaux sont désormais priés de candidater auprès de l'Agence chinoise

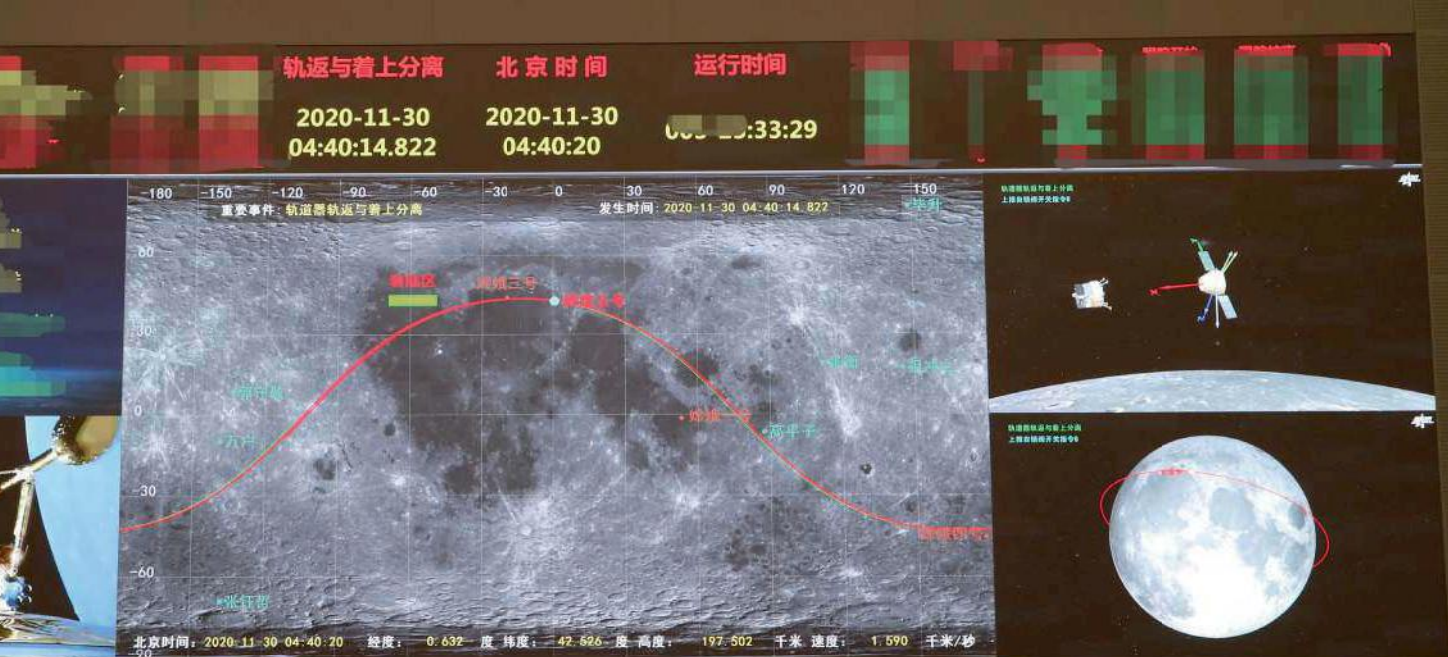
DÉCOLLAGE RÉUSSI POUR LE LANCEUR LOURD CHINOIS EN FÉVRIER: LE GRAND BOND SE PRÉCISE

accumulé depuis Apollo. Sans s'enfermer dans des échéances à long terme, elle adapte ses objectifs au fil des jalons. Dernier en date avant la CZ-10: l'acheminement vers la Terre d'échantillons de la face cachée de la Lune par la mission Chang'e 6, en juin 2024. L'exploit se

pour avoir l'opportunité de travailler sur les roches lunaires.

La mission Chang'e 7, dont le lancement est prévu pour août prochain, empiètera sur les plates-bandes américaines. L'alunisseur doit se poser près du pôle Sud lunaire pour y déposer un «robot sauteur»





qui prospectera dans cette région mystérieuse, épaulé par un orbiteur cartographe. «C'est la mission la plus compliquée que les Chinois aient jamais planifiée pour la Lune, rapporte Mathieu Grialou. Il faut développer un robot capable d'évoluer dans un cratère sous des températures extrêmement basses.»

UN MESSAGE FORT

Chang'e 8, en 2029, posera ensuite les bases du déploiement des technologies nécessaires pour passer d'une simple mission à une base robotique permanente sur la Lune. «Avant que les deux programmes [robotique et habité] ne convergent,

vers le milieu de la décennie 2030, lorsque des taïkonautes iront sur la base lunaire robotique au pôle Sud», projette Mathieu Grialou.

«Rétive au risque», la Chine ne cherche pas pour autant à brûler les étapes, estime Blaine Curcio. Les taïkonautes fouleront d'abord la Lune à son équateur, d'après une publication de mars dans *Nature*. «Sans doute parce que c'est une zone mieux connue et considérée comme plus sûre.» Aucune date n'est encore publiquement fixée, mais la mission habitée est envisagée avant 2030, dans un mouchoir de poche avec les Américains. Les analystes de la vie politique chinoise ne manquent pas

▲ Aerospace Control Center de Pékin, 2020.

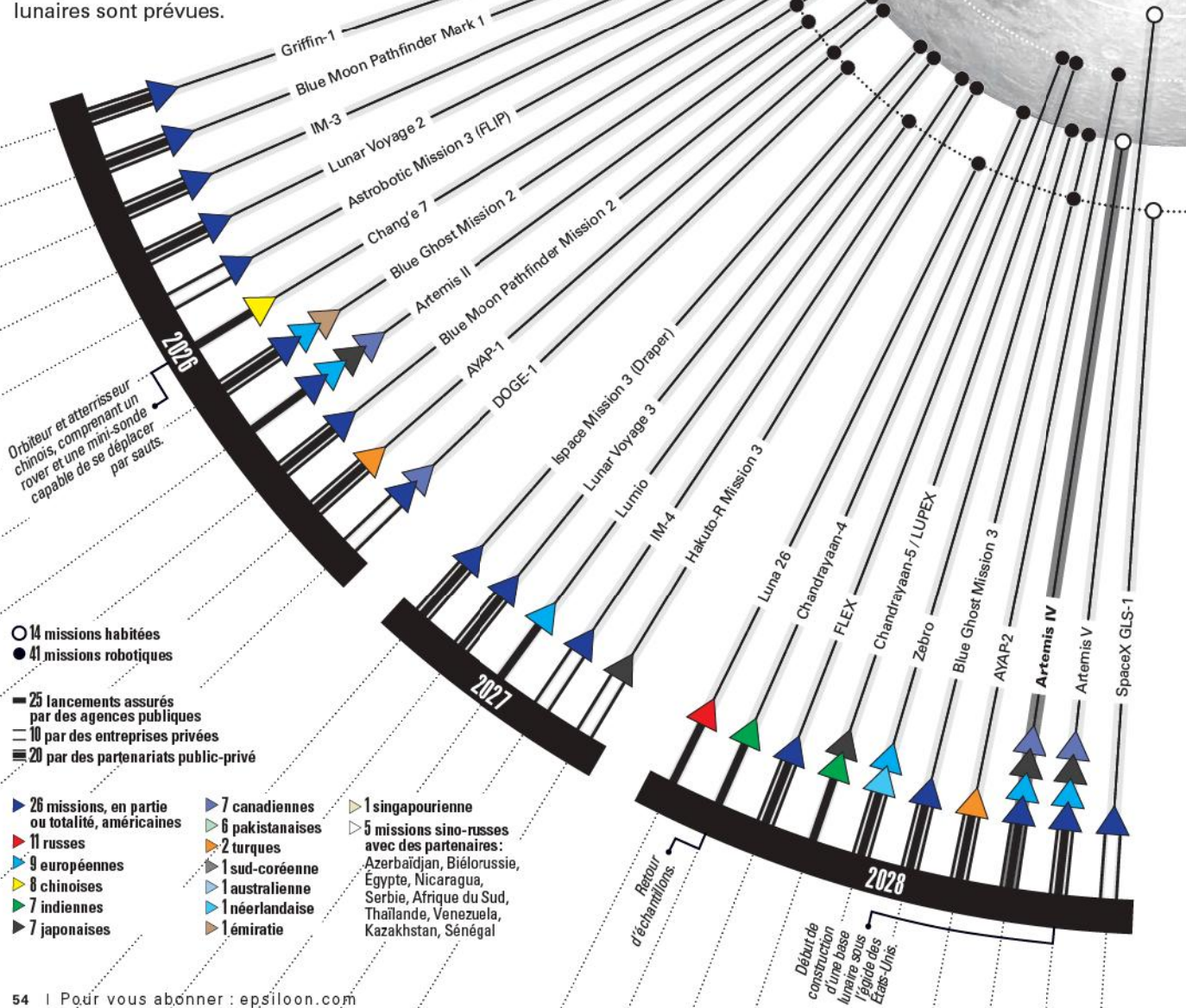
de noter que 2029 marquera le 80^e anniversaire de la fondation de la République populaire de Chine. Poser des Chinois sur la Lune à cette échéance serait «un message fort diplomatiquement», anticipe Mathieu Grialou.

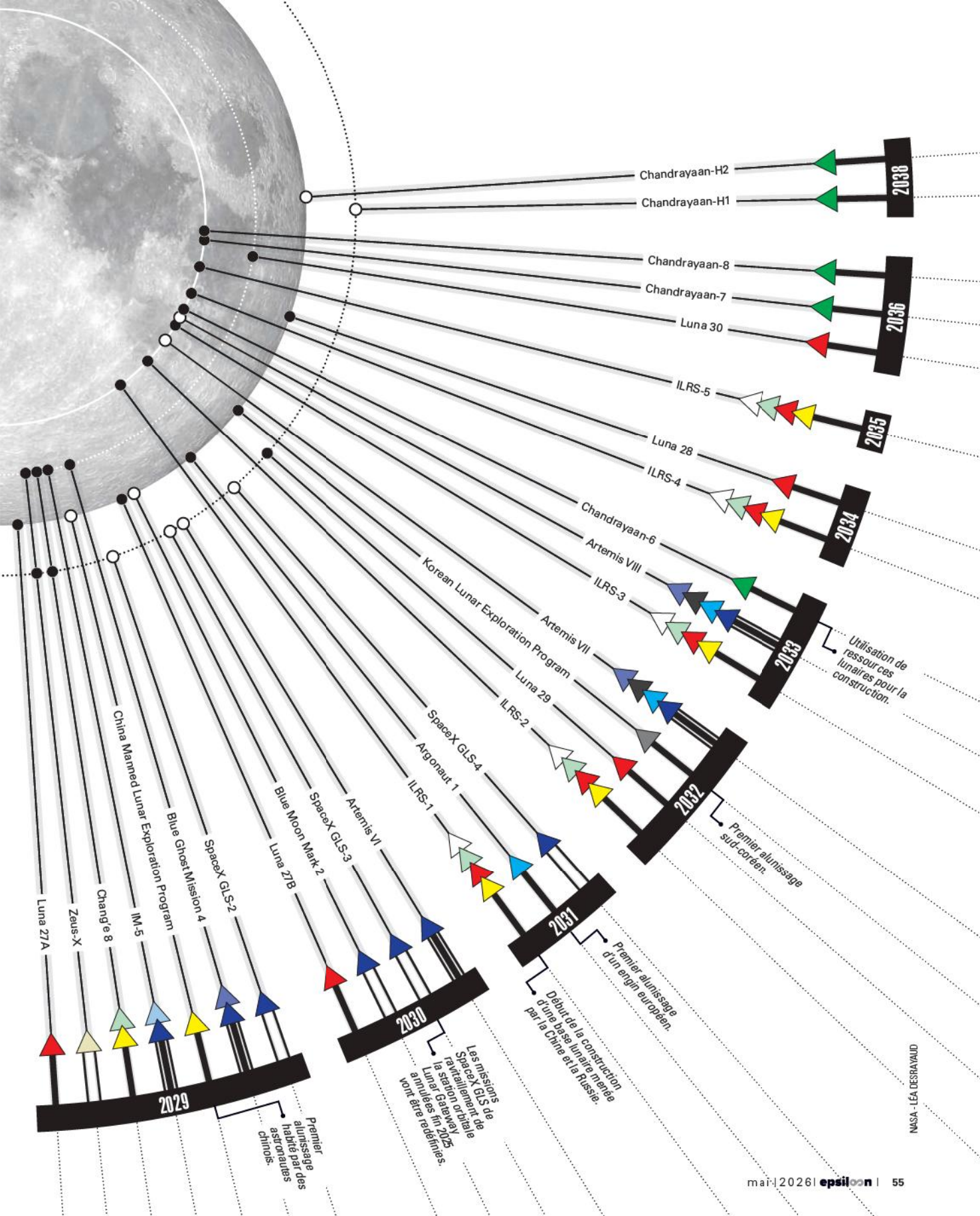
On en saura plus très vite: le vol inaugural de CZ-10 jusqu'à l'orbite lunaire est prévu pour l'an prochain. L'alunisseur Lanyue tentera de se poser sans équipage. Alors, toutes les briques du périple seront assemblées. En attendant, le pays se prépare à la 11^e Journée nationale de l'espace, le 24 avril. Voulu par le président Xi Jinping, l'événement doit rappeler que «devenir une puissance spatiale est un rêve bien chinois».

MISSIONS

UNE RUÉE MONDIALE

D'ici à 2038, 55 missions lunaires sont prévues.





GÉOPOLITIQUE

LE GRAND RETOUR
DE L'ENJEU LUNAIRE

Les choses s'étaient un peu calmées depuis un demi-siècle. Et voici que la Lune s'impose de nouveau comme un emblème, un symbole, un enjeu géopolitique. «*Nous pourrions ne jamais rattraper notre retard, et les conséquences pourraient modifier l'équilibre des pouvoirs ici sur Terre*», scandait en décembre dernier devant le Sénat Jared Isaacman en vue de sa nomination comme nouveau patron de la NASA. Priorité: contrer les ambitions chinoises sur la Lune. «*Du côté américain, la rhétorique n'a pas changé depuis Apollo. C'est un grand programme d'exploration qui mobilise des fonds massifs afin d'y arriver avant l'autre superpuissance du moment*», observe Alban Guyomarc'h, spécialiste du droit spatial au Collège de France.

D'autres raisons sont invoquées. Dont la science, bien sûr: explorer des contrées encore quasi-vierges, analyser ce sol primitif dépourvu d'érosion et de tectonique, préparer les futures missions vers Mars... Des enjeux vite balayés par tous les observateurs. «*Malgré un programme scientifique de fond, la recherche n'est pas le but d'Artemis*», réagit Teasel Muir-Harmony, historienne

des sciences et des technologies au musée de l'Air et de l'Espace Smithsonian. «*Le programme scientifique est fascinant, mais il passe clairement au second plan*, renchérit Jordan Bimm, historien de l'exploration spatiale américaine à l'université de Chicago. *Pour moi, les innombrables utopies qui entourent le secteur spatial sont des écrans de fumée cachant les intérêts d'entrepreneurs ou de nations.*»

IMPOSER SA RÈGLE

Idem du côté de la Chine. La communication officielle décrit quelques objectifs scientifiques classiques, mais met sensiblement plus en avant l'utilisation des ressources lunaires, en particulier la glace d'eau, les minéraux et l'hélium 3. «*Ce que nous pourrions trouver, ce que nous pourrions découvrir pourrait avoir un impact concret ici sur Terre*, déclarait lui aussi Jared Isaacman. *Si l'hélium 3 devient une source d'énergie nouvelle sur Terre, cela pourrait changer le cours de l'humanité, n'est-ce pas?*»

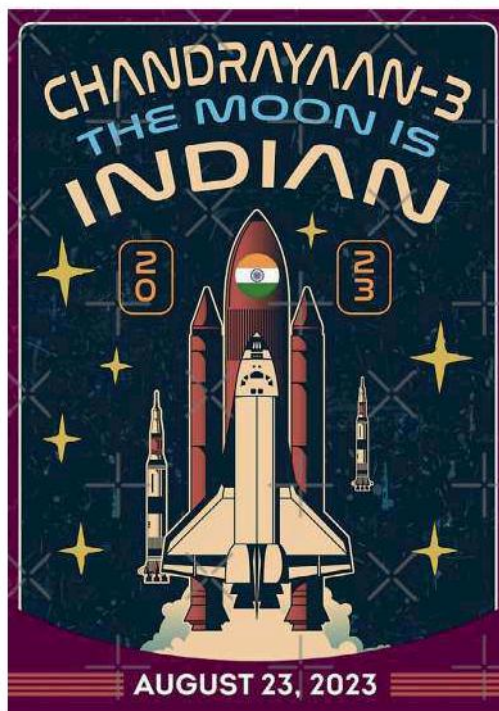
Mais même cet enjeu des ressources apparaît comme un faux nez. L'analyse des accords Artemis, mis

en place en 2017 en même temps que le programme lunaire américain du même nom, est sur ce sujet éclairant –elle passionne les juristes spécialistes du droit de l'espace. En moins de dix ans, par ce biais, les États-Unis ont engagé avec eux 61 pays sur des règles d'exploitation des ressources spatiales. Les alliés proches en premier –Canada, Royaume-Uni, Japon–, mais aussi des partenaires moins traditionnels, comme le Rwanda, le Nigeria, les Émirats arabes unis –le dernier signataire est le sultanat d'Oman, en janvier dernier. «*Les accords Artemis sont un omni-juridique. Ce n'est pas un traité international mais une constellation d'accords bilatéraux dont aucun signataire n'a négocié le contenu; ce n'est pas contraignant, mais c'est*





bien une manière d'imposer l'interprétation du droit de l'espace en invitant les signataires à la contre-signer», pointe Alban Guyomarch. Alors que personne ne croit vraiment à ce qu'un pays réussisse à exploiter des ressources spatiales d'ici la fin de la prochaine décennie. «L'hélium 3, on en parle comme d'un modérateur pour des réacteurs à fusion: il faut quand même se rendre compte à quel point on est loin d'avoir besoin de ce type de ressources. Les accords Artemis, c'est une philosophie, analyse Paul Whorer, spécialiste du sujet à l'Institut français des relations internationales. Une manière de mettre tout le monde d'accord autour de grandes valeurs pour la conquête de l'espace, qui seraient fondamentalement des valeurs américaines.» →





UN IMAGINAIRE ? UN TERRITOIRE À CONQUÉRIR ? UNE FUTURE ÉCONOMIE ? UNE DÉMONSTRATION TECHNOLOGIQUE ? LA LUNE EST AVANT TOUT UN SYMBOLE

«La lune cristallise une nouvelle logique propriétaire ou territorialiste: la présence d'un sol – à la différence d'une orbite– renouvelle l'approche», ajoute Alban Guyomarc'h. Un soft power lunaire d'un nouveau genre, plus discret, plus technique, mais non moins efficace. «C'est désormais la règle des États-Unis qui s'applique», observe froidement Christophe Bonnal, membre de l'Académie française de l'air et de l'espace. «Les États-Unis et la Chine ne sont pas les seuls sur la ligne de départ», reprend Alban Guyomarc'h. Les Indiens ont réussi à se poser en 2023 au pôle Sud; l'Europe a ses engagements; le Pakistan a un programme; il y a les ambitions

japonaises... le paysage est clairement internationalisé et c'est nouveau. Ça refait de la Lune une destination de démonstration non pas de puissance, mais de compétences.»

QUESTION DE FIERTÉ

«Artemis II ne relève pas de la nostalgie ni d'un simple vol d'essai technique. Il s'agit d'un signal stratégique indiquant que les États-Unis entendent participer à une course lunaire d'un genre nouveau, moins axée sur des succès ponctuels que sur une présence durable, des partenariats et la capacité d'influencer la conduite des activités lunaires», interprète de son côté Michelle Hanlon, professeure de droit aérien et spatial

à l'université du Mississippi. Avec, en arrière-plan, l'idée d'encourager les activités de commerce spatial, d'entraîner une nouvelle économie dans la logique du New Space lancé par Barack Obama, qui brasse aujourd'hui des dizaines de milliards de dollars en orbite autour de la Terre.

La Lune, il faut en être pour occuper le terrain, décider des règles avant qu'un autre le fasse. Il faut y aller pour démontrer son savoir-faire technique, sa modernité. Il faut en parler pour guider une convergence industrielle. Il faut y travailler, pour avoir des alliés internationaux. «Les Chinois sont conscients qu'il faut être partie prenante de tout ça. Arriver trop tard c'est prendre le risque

58

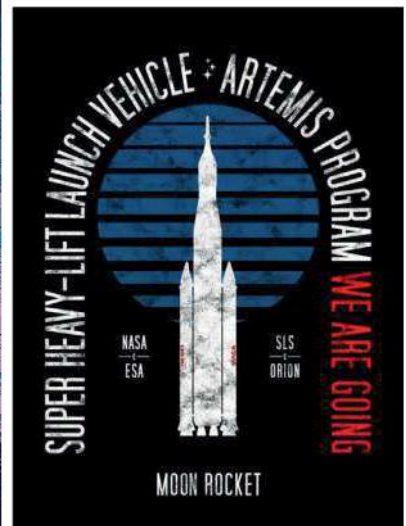
逐梦航天 合作共赢

Pursue space dream for win-win cooperation

4·24

2019年中国航天日

SPACE DAY OF CHINA



de laisser les Américains construire seuls les réglementations internationales, observe Matthieu Grialou, représentant du CNES à Pékin. *Le spatial est clairement identifié par la Chine comme un attribut du pouvoir auquel elle aspire. C'est la logique de prestige international et de démonstration de puissance.*

Et bien sûr, insuffler une fierté nationale. « La suite dépendra de ça, prévoit Paul Whorer. Un des points clés sera la réaction du public

américain. Est-ce qu'il va suivre? » À ce titre, Artemis II a été en partie décevant. « Pendant un bref instant, on a de nouveau parlé de courage, d'exploration, d'ambition nationale et d'objectif commun, chroniquait au lendemain du décollage le correspondant à la Maison Blanche du *New York Times*. Le rugissement de la fusée a captivé l'attention du public pendant moins de 2 h 30... avant que le président Trump n'apparaisse à l'écran pour détourner le sujet. »

NOS SOURCES

Vers le sol lunaire: <https://www.nasa.gov/missions/artemis>. **Mission impossible:** NASA's Management of the HLS Contracts (2026); NASA's Aerospace Safety Advisory Panel Annual Report (2026); C. Dimanche et al., *Physics of fluid* (2025); R. Watkins et al., *Bulletin of the AAS* (2021); Z. Su et al., *Space Habitation* (2025); A. John Eko et al., *J. Phys Energy* (2026). **Chine:** R. Niu et al., *Advance in Astronautics* (2024); M. Yang et al., *Nature Astronomy* (2026); Government Space Programs, Novaspace, 24^e éd. **Géopolitique:** A. Martin & P. Wohrer, Notes, Ifri (2024); T. Muir-Harmony et al., *Acta Astronautica* (2026); A. Guyomarc'h, *Questions internationales* (2025).





PAR VINCENT NOUYRIGAT

UN MONDE DE SANGLIERS

Et si c'était lui le grand gagnant de l'anthropocène? Cet opportuniste s'adapte à tous les climats, peut vivre partout, même en ville, et se reproduit de plus en plus vite... Oui, il va falloir apprendre à vivre avec les sangliers.

C'est vraiment un cas à part chez les ongulés sauvages : les cerfs ont un seul petit, les chevreuils deux, les sangliers six ou sept

Éric Baubet, spécialiste des ongulés sauvages à l'Office français de la biodiversité



C'est la bête sauvage dont tout le monde parle. Que l'on soit à la campagne, à la montagne, en bord de mer ou en centre-ville, le sanglier anime les conversations. Ce sont des histoires maintenant bien connues de champs, de jardins, de terrains de foot dévastés, de poubelles saccagées, de promeneurs chargés, de chiens de chasse évanoués, d'accidents de la route parfois dramatiques avec ces animaux pesant 80 à 100 kg, ou d'incessantes collisions ferroviaires – la SNCF en a enregistré 1400 en 2025.

ILS SONT PARTOUT

Ce sentiment d'invasion ne se limite pas à la France, ni même à l'Europe : des récits très similaires émergent ces dernières années en Scandinavie, en Sibérie, en Chine, au Japon... Tandis que les cochons introduits en Australie et sur le continent américain se sont largement épanouis dans la nature. « Ces trente dernières années, leur population a augmenté de manière quasi exponentielle aux États-Unis », constate Samantha Wisely, biologiste à l'université de Floride. « C'est devenu aussi une grande préoccupation en Amérique du Sud », reprend Clarissa Rosa, de l'Institut national de recherche amazonienne. Ils se sont répandus très rapidement au Brésil, en Uruguay, en Argentine... Une population introduite en Argentine est même parvenue à franchir la cordillère des Andes pour gagner le Chili. Traverser des fleuves – y compris le Rhône en crue – ou des bras de mer ne les effraie pas non plus : « Des sangliers ont atteint à la nage l'île de Port-Cros, située à 8 km des côtes du Var, et une population a commencé à s'y développer

On ne peut même pas parler de surpopulation, il n'y a pas de phénomène d'autorégulation

Raphaël Mathevet, écologue et géographe au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive

fortement à partir de 2015 », décrit Gilles Cheylan, de la Société française pour l'étude et la protection des mammifères.

Colliers GPS, caméras thermiques, drones, satellites radar, prélèvements ADN, analyses sanguines... Tous les moyens sont mobilisés pour traquer et mieux comprendre ces ongulés hirsutes. « Ils semblent pouvoir s'adapter à toutes les conditions climatiques, de -30°C à +40°C », souffle Oscar Skewes, de l'université de Concepcion, au Chili. Une équipe de vétérinaires autrichiens vient même d'établir que leurs capacités de thermorégulation face au froid rivalisaient avec celles des ours polaires. Tandis que leur comportement ultra-opportuniste et leur régime omnivore leur ouvrent les portes d'à peu près tous les écosystèmes de la planète : ils se régalaient avant tout de fruits forestiers comme les glands et les faines, se nourrissent de toutes sortes de tubercules et champignons, mais aussi de lombrics, de larves, d'insectes, mollusques, reptiles ou oisillons, et ne sont pas du tout rebutés à l'idée de consommer des cadavres. « Leur marge de manœuvre est énorme », confirme Éric Baubet, à l'Office français de la biodiversité. *Sus scrofa scrofa* peut donc s'épanouir aussi bien dans la jungle que dans la garrigue, en passant par la forêt boréale et même n'importe quel jardin public. « Les individus que nous avons suivis dans l'agglomération de Bordeaux naissent, vivent et meurent en ville », révèle Carole Marin, chercheuse en géographie à l'université Bordeaux Montaigne. « Ils peuvent se contenter de très peu d'espace et se reposer dans la végétation au milieu d'un rond-point », confirme Raphaël Mathevet, du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, qui a étudié le sujet à Nîmes et



Montpellier. « Les sangliers de Barcelone sont plus grands, plus gras et grandissent plus vite que leurs homologues ruraux, car ils se nourrissent de nos déchets riches en calories et en protéines », précise Jorge Ramon Lopez Olvera, vétérinaire à l'université autonome de Barcelone.

DU MAÏS, DU COLZA ET DES PETITS POIS

Ils sont partout. Et de plus en plus nombreux. Combien ? Personne ne se risque encore à une estimation. Seuls les tableaux de chasse peuvent donner une petite idée du phénomène en cours : 881 372 sangliers ont été abattus en France durant la saison de chasse 2024-2025, contre moins de 400 000 en 2000-2001, environ 100 000 entre 1989 et 1990 et... à peine 36 000 en 1973-1974. « Dans la France de l'après-guerre, le sanglier était difficile à apercevoir, un gibier inattendu et rare, fièrement exposé à la population lorsqu'il était abattu, raconte Raphaël Mathevet. L'évolution des activités humaines leur a ensuite été favorable. Les sangliers ont profité de l'extension des forêts avec l'exode rural. Mais aussi de l'intensification agricole avec d'immenses parcelles de cultures nourrissantes et de moins en moins d'agriculteurs pour les repousser. Ils raffolent particulièrement du maïs, c'est leur friandise » – et aussi du colza et des petits pois. Les chasseurs ont également joué un rôle décisif dans cette expansion : « En France, la disparition du petit gibier, lié notamment à l'arrachage des haies, a conduit les instituts cynégétiques à miser sur le gros gibier, poursuit Raphaël Mathevet. On a alors demandé aux chasseurs de conserver ces populations de sangliers comme

un cheptel, en évitant de tirer sur les grands mâles et femelles reproducteurs. » Quitte à nourrir aussi ces nouvelles hardes dans les forêts durant l'hiver et à les abreuver en été.

Force est de constater que les chasseurs sont dépassés par cette espèce à la démographie singulière. « C'est vraiment un cas à part chez les ongulés sauvages, insiste Éric Baubet. Alors que les cerfs donnent naissance à un seul petit, les chevreuils généralement à deux, les portées de sangliers comptent six ou sept marcassins. » Sans compter leur extrême précocité : « Une femelle peut entrer en reproduction dès qu'elle atteint 30% de son poids adulte, alors que c'est 80% chez les autres ongulés, renchérit Marlène Gamelon, chercheuse au Laboratoire de biométrie et biologie évolutive, à Villeurbanne. Ils ont une stratégie de vie totalement atypique pour des mammifères de cette taille, c'est comparable à la démographie de petits animaux comme les mésanges. » La chercheuse a aussi relevé que le poids des marcassins varie au sein d'une même portée – ils peuvent avoir des pères différents –, ce qui permet d'affronter toutes sortes de conditions. « C'est une tactique que l'on rencontre chez les amphibiens », note Marlène Gamelon. Cette capacité reproductive semble aussi exacerbée lorsque des sangliers s'hybrident en douce avec des cochons domestiques, dûment sélectionnés pour être prolifiques.

Voici donc l'histoire d'une espèce prête à prospérer à tout moment qui rencontre aujourd'hui des conditions idéales : à savoir un paysage agricole moderne, quasi vide de grands prédateurs naturels, façonné de petits îlots forestiers qui servent de refuges, d'immenses champs de céréales et autres cultures →

pérennes où ils peuvent se nourrir et se camoufler. «*Les agriculteurs sont de plus en plus soucieux de préserver la vie dans leurs sols, et cela plaît beaucoup aux sangliers*», observe Yves Bourguignon, chef des gardes de l'environnement du canton de Genève. Ajoutez à cela l'expansion des villes qui empiètent sur leur territoire, mais leur offrent des ressources supplémentaires auxquelles ils peuvent accéder en empruntant les fameuses trames vertes et bleues développées par les pouvoirs publics: «*Elles sont devenues de véritables autoroutes à sangliers!*», s'exclame Raphaël Mathevet. Bref, le monde du XXI^e siècle semble taillé pour eux – rares sont les animaux à pouvoir en dire autant.

TELEMENT FASCINANT

Mieux, ou pire: même le changement climatique pourrait leur être favorable. «*Les printemps plus chauds et secs favorisent la fructification des chênes, et nos travaux ont montré que cette abondance de glands devrait favoriser la croissance démographique des sangliers; un effet qu'on commence d'ailleurs à percevoir*», évoque Marlène Gamelon. «*Cette année, en Haute-Marne, on a vu pour la première fois des naissances dès le mois de décembre*», témoigne Éric Baubet. «*Certains sangliers produisent deux portées par an, ces animaux sont d'une plasticité extrême*», souffle Tomasz Podgorski, de l'Institut polonais de recherche sur les mammifères. «*On ne peut même pas parler de surpopulation de sangliers, il n'y a pas de phénomène d'autorégulation, pas de famine. Les capacités d'accueil du milieu n'ont pas encore été atteintes, au contraire même, les ressources sont de plus en plus abondantes*», lâche Raphaël Mathevet.

Tant mieux pour les sangliers. «*Leur population était très faible au XIX^e et XX^e siècles à cause des humains, ils retrouvent juste leur rôle écologique normal*», approuve Stefano Focardi, écologue à l'Institut des systèmes complexes à Florence. «*C'est un animal fascinant, avec une socialité tout à fait particulière, des femelles très fortement soudées qui vivent ensemble sur plusieurs générations comme les éléphants, salue Marlène Gamelon. Avec un vrai rôle positif sur l'environnement, en participant à la régénération des forêts.*» Mais ils ne récoltent pas que des louanges: «*Aux États-Unis, le montant de leurs dégâts s'élève à 3,4 milliards de dollars par an*», déplore Tanya Espinosa, de l'United States Department of Agriculture. Quand ils débarquent sur de nouveaux continents, sur des îles, ces invasifs menacent forcément la faune et la flore indigènes. «*Ce sont à la fois des herbivores destructeurs et des prédateurs, ils sont tellement polyvalents qu'ils impactent un large éventail d'espèces et de processus écologiques*», alerte Derek Risch, chercheur en écologie spatiale à l'université d'Hawaï. Et ils sont accusés de transporter



« Ils ont aussi un rôle positif sur l'environnement, en participant à la régénération des forêts »

Marlène Gamelon, chercheuse au Laboratoire de biométrie et biologie évolutive

de nombreux pathogènes comme la brucellose, la tuberculose bovine, l'hépatite E, et surtout la peste porcine africaine qui menace en ce moment les élevages de porcs industriels.

Tout le monde cherche aujourd'hui un moyen de contrôler leur population. Le niveau de persécution qui lui est infligé est déjà très élevé, avec des battues massives organisées presque toute l'année en France – au point que la Fédération nationale des chasseurs a lancé en octobre 2025 un label alimentaire pour tenter de valoriser l'énorme quantité de viande de sanglier désormais disponible. Cela ne suffit pas. Plusieurs études montrent que ces animaux hyperflexibles s'adaptent en adoptant un mode de vie plus nocturne, et en se repliant dans les zones broussailleuses ou escarpées, hors d'atteinte des chasseurs – dont les effectifs ne cessent de reculer partout en Europe. «*Ils cherchent naturellement la tranquillité dans*

les zones non chassées: on les voit par exemple se cacher la journée dans le parc national des Écrins, puis descendre à la nuit tombée dans les vergers», illustre Raphaël Mathevet. «C'est à partir de ces bastions que les populations se maintiennent», analyse Roberto Pascual Rico, chercheur en biologie appliquée à l'université d'Elche, en Espagne. Les survivants qui échappent à la chasse intensive sont les plus craintifs et fuyants, cela sélectionne ensuite ce trait de comportement. Une étude menée dans une forêt de l'est de la France suggère même que les laies auraient accéléré leur rythme de reproduction pour faire face aux pertes de la saison de chasse; «nous avons aussi détecté en Israël que les femelles sous haute pression de chasse présentent un haut niveau d'hormones reproductives», lance Achiad Davidson, de l'université de Haifa. «Par ailleurs, la chasse affecte davantage les jeunes mâles en phase de dispersion; les mâles sédentaires sont donc favorisés et les femelles en leur présence atteignent plus rapidement leur maturité sexuelle», avance Stefano Focardi, de l'Institut italien de la faune sauvage. Et puis, même si c'est encore très peu étudié, les sangliers semblent coopérer entre eux pour mieux se nourrir, voire se protéger. Bien sûr, le retour du loup ici ou là peut apporter sa contribution: «Dans le massif de la Sainte-Victoire, nos analyses montrent que le sanglier est devenu leur proie principale, ils ciblent les plus jeunes et cela peut avoir un impact démographique», note Fabrice Roda. Mais le phénomène reste très localisé.

PROBLÈMES ÉTHIQUES

La tentation est grande de mettre les bouchées doubles: on parle d'installer des miradors près des cultures céréalières, d'organiser de grandes battues au cœur des parcs nationaux, d'autoriser davantage les tirs de nuit –plus discrète, l'antique chasse à l'arc est privilégiée en milieu périurbain. «La priorité est maintenant donnée aux technologies militaires: lunettes de vision infrarouge, armes semi-automatiques, drones...», relate Erica von Essen, à l'université des sciences appliquées de Norvège intérieure. Américains et Australiens pratiquent avec plus ou moins de succès l'empoisonnement, la chasse par hélicoptère, capturent des hardes entières dans des pièges énormes. «Pour les affecter, il faudrait parvenir à tuer 80% de la population chaque année», estime Achiad Davidson. À moins de parvenir à en stériliser une partie: «Plusieurs groupes de recherches travaillent actuellement sur des contraceptifs oraux qui pourraient être administrés via des appâts», propose Giovanna Massei, de l'université de York.

Une chose est sûre, la chasse telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui en France ne suffit plus. «Les battues aux chiens courants reposent sur une participation volontaire, les chasseurs sont motivés avant tout par le loisir, le plaisir de retrouver leurs équipiers, et non par le service public de régulation du sanglier», lance Carole Marin. «On leur a longtemps demandé de préserver leur espèce fétiche, et maintenant on leur demande de la détruire. Cela ne va pas de soi, cela pose des problèmes éthiques aux chasseurs», avance Raphaël



La présence de ce grand gibier en ville est un impensé des politiques urbaines

Carole Marin, chercheuse en géographie à l'université Bordeaux Montaigne

Mathevet. Dans le canton de Genève, où la chasse a été abolie, cette régulation est pratiquée de nuit par des gardes professionnels; «les dégâts agricoles ont été considérablement réduits», signale Yves Bourguignon.

«Je pense surtout qu'il faut retrouver un équilibre dans l'aménagement de nos territoires, tout en réduisant leurs sources de nourriture et les zones refuges», milite Jorge Ramon Lopez Olvera –même si des débroussaillages trop violents ne seraient pas de bon ton pour le reste de la faune. «La présence de ce grand gibier en ville est un impensé des politiques urbaines, constate Carole Marin. C'est un vrai sujet de tensions et de contradictions avec des municipalités qui, à la fois, défendent la biodiversité et supportent mal l'arrivée de certaines espèces.»

Une cohabitation est-elle possible? Il s'agirait d'apprendre à vivre avec eux, et réciproquement. Des poubelles verrouillables et des moyens répulsifs sont actuellement testés pour leur faire comprendre qu'il ne faut pas s'approcher de nos cultures et de nos jardins. Signaux sonores, visuels, odorants, «bon, la technique qui fonctionne le mieux, c'est la clôture électrique», grimace Yves Bourguignon. «Il va falloir éviter qu'ils s'habituent trop à notre présence, deviennent téméraires et se jettent par exemple sur le cornet de glace que tient un enfant, imagine Raphaël Mathevet. Mais oui, on trouve des quartiers où humains et sangliers parviennent déjà à vivre ensemble...» Bienvenue dans un monde de sangliers.

NOS SOURCES

Oskarskewes et al., *Mastozoologia neotropical* (2025); Tomasz Podgorski et al., *Journal of Applied Ecology* (2025); Carole Marin et al., *Science of the Total Environment* (2024). Retrouvez toutes nos sources sur epsilonon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilonon*.





Méthode Coué

La preuve que ça marche

Tous les jours, à tous points de vue, je vais de mieux en mieux... » En regardant l'expérience que viennent de mener des neurobiologistes de l'université de Tel Aviv, difficile de ne pas penser à la petite litanie positive qu'Émile Coué de la Châtaigneraie recommandait à ses patients de répéter chaque soir dans leur lit. « *Si étant malade, nous nous imaginons que la guérison va se produire, celle-ci se produira si elle est possible. Si elle ne l'est pas, nous obtiendrons le maximum d'améliorations qu'il est possible d'obtenir* », professait le pharmacien nancéen dans *La Maîtrise de soi-même par l'autosuggestion consciente*, publié au début du XX^e siècle.

La méthode, aujourd'hui assimilée à un volontarisme un peu naïf et forcené, suscita un vif enthousiasme durant l'entre-deux-guerres, avant d'être reléguée dans l'ombre des pseudosciences, ou dévoyée dans le fourre-tout très marketé des best-sellers en développement personnel. Depuis quelques années pourtant, →

l'idée qu'une attitude positive à l'égard d'un traitement thérapeutique puisse produire un effet placebo reprend du lustre dans l'imaginaire scientifique.

LA PUISSANCE DE L'ATV

Au point que le neurobiologiste Nitzan Lubianiker, de l'université de Tel Aviv, l'annonce: «*L'influence de l'autosuggestion sur notre bien-être physique, et plus particulièrement sur la manière dont le système immunitaire combat les agents pathogènes envahisseurs ou les lésions tissulaires, pourrait agir selon le mécanisme que nous mettons en évidence dans notre étude.*» Une sorte de confirmation expérimentale de l'efficacité de cette bonne vieille méthode Coué.

de la moelle épinière, qui projette un peu partout dans le cerveau des connexions dopaminergiques. Pas étonnant, explique la chercheuse: «*L'ATV est associée à une récompense ou au désir et s'active lorsqu'on espère une issue positive, c'est une composante clé de la motivation.*» Plus notable, cette activation par des pensées positives s'est renforcée au fur et à mesure que les personnes répétaient l'expérience. Surtout, les effets ont été au-delà du cerveau.

À l'issue de ces séances, les 68 participants ont été vaccinés contre l'hépatite B, ainsi qu'un groupe de 17 autres personnes, dit de «contrôle». Résultat: 14 et 28 jours après la vaccination, celles et ceux qui avaient cultivé des pensées positives présentaient en moyenne une plus grande quantité d'anticorps dans leur sang contre le virus de l'hépatite B. «*Cela faisait longtemps que ce lien entre le cerveau et le système immunitaire était suspecté, mais c'est la première fois que l'on révèle aussi clairement une telle association via l'ATV*», salue le neuroscientifique Tor Wager, spécialiste de l'effet placebo au Dartmouth College, aux États-Unis,

Je vais bien, tout va bien
Je vais bien, tout va bien
Ça va aller ! Je suis gaie,
Ça va aller ! Ça va

«*Nos motivations et nos espoirs peuvent se concrétiser dans le corps, et cette synchronisation repose sur les connexions anatomiques et fonctionnelles entre le cerveau et les organes du corps*», résume sa collègue Asya Rolls, qui a supervisé l'étude.

Concrètement, l'équipe a d'abord observé, IRM à l'appui, l'effet dans le cerveau des pensées positives, qu'elles soient verbales ou visuelles, au sein d'un groupe de 68 personnes. «*Les participants ont eu recours à différentes stratégies pour former ces pensées*, décrit Asya Rolls. *Beaucoup ont pensé à leurs proches, à des souvenirs agréables ou à un futur voyage.*» Ils ont alors constaté une augmentation de l'activité de l'aire tegmentale ventrale, l'ATV, une zone de la taille d'une petite bille située à la naissance

qui avait déjà pointé auparavant le rôle de l'ATV dans la gestion positive des émotions face à la douleur. «*Ces résultats sont très stimulants, car ils suggèrent que des facteurs cognitifs comme l'attente positive ou l'espoir peuvent influencer des mécanismes biologiques fondamentaux*, se réjouit le neurobiologiste Giuseppe Gangarossa, à l'université Paris Cité. *Cela ouvre des perspectives de recherche prometteuses pour mieux comprendre comment les états psychologiques pourraient être intégrés, à terme, dans des stratégies thérapeutiques complémentaires.* »

IMMUNITÉ, CANCER, CRISE CARDIAQUE...

«*Nos études chez les souris suggèrent que ce potentiel existe*», confirme Asya Rolls. En 2016, elle avait déjà montré que l'activation artificielle de l'ATV des rongeurs augmente leurs défenses immunitaires contre une infection à la bactérie *E. coli*. Et en 2018, que cela permet au système immunitaire de limiter la croissance des cancers. «*Nous avons aussi observé un effet positif sur les crises cardiaques*», ajoute-t-elle. Une équipe japonaise a

par ailleurs observé en 2022 que cette activation de l'ATV augmente le niveau des défenses immunitaires innées dans le sang des rongeurs – et que le même effet s'observe lorsque des souris mâles s'attendent à une prochaine rencontre amoureuse...

ET LE NOCEBO ?

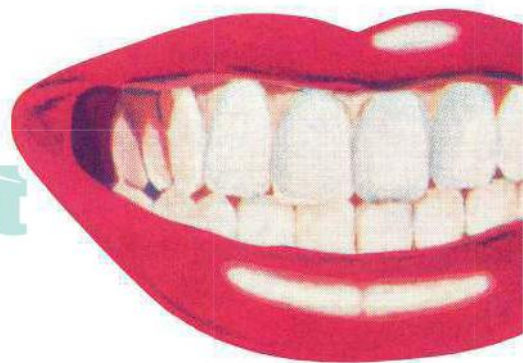
La manière dont l'immunité est boostée reste à éclaircir. «*Nous suspectons plusieurs voies de stimulation, détaille Nitzan Lubianiker, notamment via l'hypothalamus et le nerf vague, qui joue un rôle majeur dans les connexions entre le corps et le cerveau et qui innerve tous les organes périphériques de l'immunité.*» Les vaisseaux lymphatiques méningés, qui connectent la surface

proposer une méthode thérapeutique exploitant ces bienfaits des pensées positives. «*Cela nécessite de conduire davantage d'études*», souligne la neuroscientifique et psychologue Lene Vase, qui étudie le sujet à l'université d'Aarhus, au Danemark. D'autant que les seules attentes positives peuvent être contre-productives, avertit Tor Wager: «*Des personnes qui n'arrivent pas à positiver peuvent s'en vouloir, ce qui les rend encore plus anxieuses.*» La méthode Coué s'est même révélée dangereuse chez les personnes qui doutent le plus d'elles-mêmes, avait montré la psychologue canadienne Joanne Wood lors d'une étude conduite en 2009. Francesco Pagnini abonde: «*Si quelque chose d'inattendu et de défavorable survient dans l'évolution d'une maladie, les attentes disproportionnées risquent de se briser sur cette nouvelle difficulté et la personne d'accuser encore plus sévèrement le coup.*» Et de préconiser: «*Il faut cultiver l'espoir avec une certaine souplesse d'esprit.*» Autrement dit, ne pas faire de la méthode Coué et des pensées

bien ..

...

rien, tout me plaît
rien, tout me plaît
aller !



du cerveau aux ganglions lymphatiques, pourraient jouer le rôle d'une courroie de transmission. C'est donc une nouvelle variante de l'effet placebo que ces résultats mettent au jour: l'autosuggestion, à travers les attentes conscientes et subjectives des patients, jouerait un rôle tout aussi important que l'hétérosuggestion, c'est-à-dire les indications des médecins. «*Il est clair que l'effet placebo possède une composante active, liée aux attentes et à l'état d'esprit des personnes*», abonde le psychologue Francesco Pagnini, qui a récemment initié à l'université catholique du Sacré-Cœur, en Italie, un nouveau cadre de recherche sur cet effet placebo auto-induit.

Les scientifiques, cependant, préviennent: ils ne sont pas encore en mesure de

positives une panacée, ou pire, une religion. Car la déception, elle, peut être redoutable: «*Nous avons constaté chez des personnes souffrant d'asthme ou de sclérose en plaques que les états d'esprit négatifs engendrent un effet nocebo amplifiant les symptômes*», pointe le chercheur. Un épisode de stress augmente par ailleurs les risques de tomber malade et «*la dépression est connue pour réduire l'efficacité du système immunitaire*», évoque Asya Rolls. «*Les pensées positives semblent avoir un effet placebo moindre en regard de l'effet nocebo*», prévient même Francesco Pagnini.

Nous voilà prévenus: la fraîcheur spontanée d'un sourire vaut peut-être mieux qu'une prière enragée.

NOS SOURCES

Nitzan Lubianiker et al., *Nature Medicine* (2026); Kyungdeok Kim et al., *Nature Medicine* (2026); Ke Bo, Tor Wager, *Handbook of Clinical Neurology* (2025); Francesco Pagnini, *Humanities and Social Sciences Communications* (2024). Retrouvez toutes nos sources sur lagoon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.



Göbekli

Le temple de l'apocalypse

PAR ÉMILIE RAUSCHER



▲
Göbekli Tepe,
Turquie

Des vestiges fastueux, un mystérieux cercle de pierres qui ne révèle que lentement ses secrets. Et si Göbekli Tepe, ce « temple » vieux de 11000 ans, était l'ultime témoignage d'un monde perdu, celui d'une poignée de chasseurs-cueilleurs qui refusent de disparaître.



C'est un site perdu aux confins de la Turquie, dans l'immense plaine d'Harran, sur laquelle veillent les monts Taurus. Un jeu de cercles de pierres semi-enterrés, atteignant jusqu'à 20 mètres de diamètre. Chacun a conservé ses piliers monolithiques en « T » gravés, reliés par des murs et des bancs, autour de deux piliers anthropomorphes centraux de plus de 5 mètres de hauteur – la toiture qu'ils soutenaient a depuis longtemps disparu. Ces ruines monumentales sont d'autant plus déroutantes qu'elles ont plus de 11000 ans... Érigées avant l'invention des outils de fer, elles se dressent à la lisière temporelle du paléolithique et du néolithique, entre le monde des chasseurs-cueilleurs et des grottes ornées et celui des premiers villages alimentés par l'élevage et l'agriculture, dont nous sommes les héritiers.

« J'ai fouillé du néolithique toute ma vie... Et Göbekli Tepe ne correspond à rien de ce que l'on savait sur cette période », témoigne le préhistorien Jean-Paul Demoule, de l'université Panthéon-Sorbonne. Lorsque le site est repéré dans les années 1960, on le croit d'ailleurs romain. Il faudra attendre les années 1990 pour que l'archéologue Klaus Schmidt voie son unicité et en fasse le « temple » de la modernité naissante, la matérialisation de l'aube du néolithique. Ici, pour la première fois, l'humanité encore

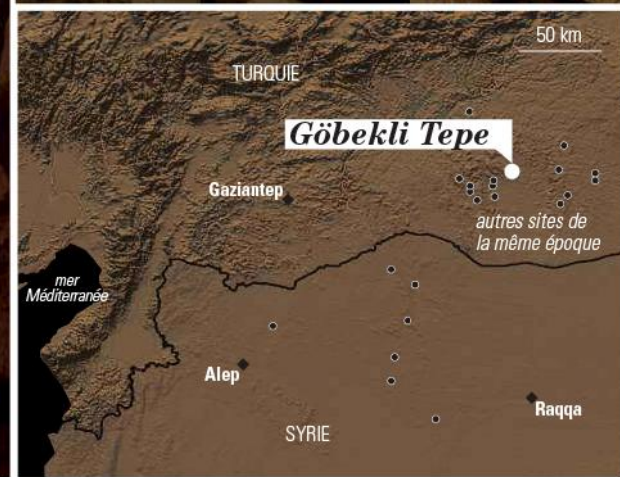
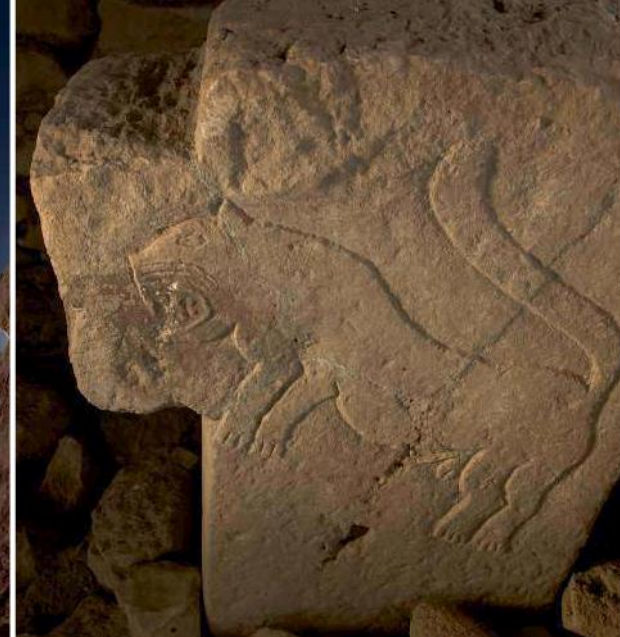
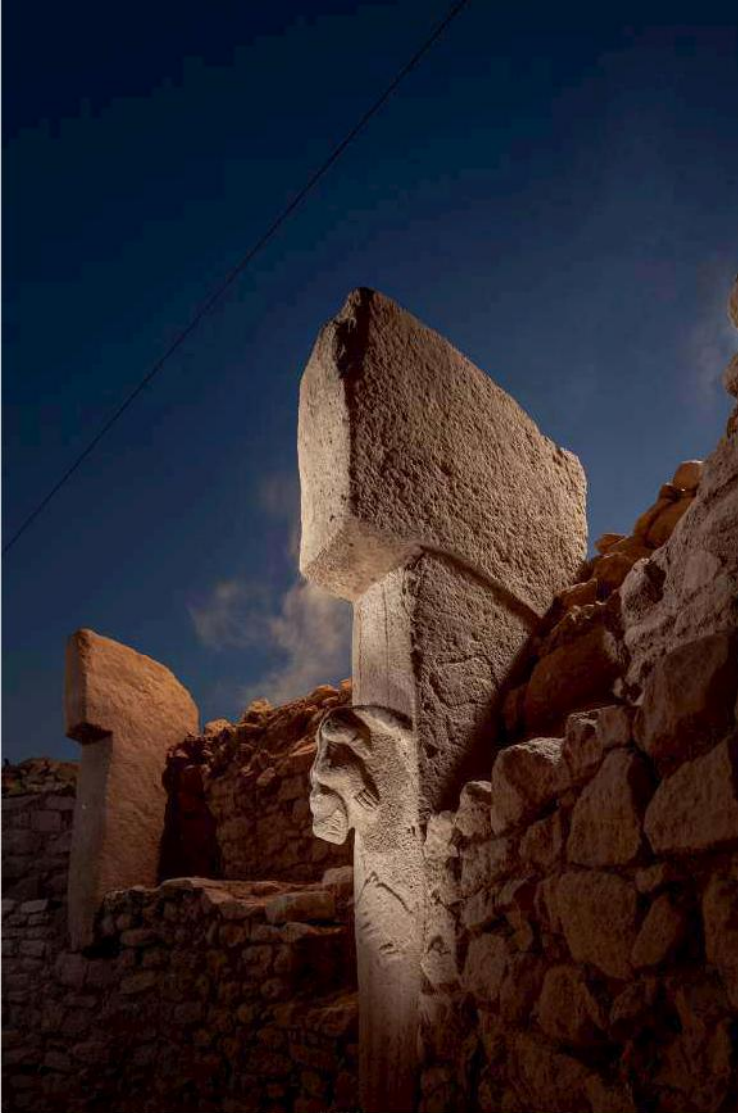
nomade se serait réunie pour bâtir, célébrer, repartir, puis revenir et recommencer. Tout le reste, villages, sociétés complexes, religions, allait suivre. Un récit fascinant.

Sauf que non. Les statues masculines et animales sorties de terre ces trois dernières années racontent une histoire différente, longue de 1500 ans et peut-être encore plus vertigineuse. Pour l'archéologue en charge des fouilles, Lee Clare, de l'Institut archéologique allemand, Göbekli Tepe n'est pas le fer de lance du néolithique, mais un bouquet final d'une culture paléolithique. Son confrère Thomas Zimmermann, de l'université Bilkent, abonde : « Ce n'est pas le "point zéro de l'histoire", mais le "dernier rempart" d'une société ancienne en déclin, riche d'une culture complexe et originale. » Une trentaine de sites du même acabit ont été localisés dans les environs, et un projet international a été lancé en 2019 pour étudier les neuf plus importants. « Tous révèlent des modes de vie et des pratiques rituelles inédites », souligne Fatma Sahin, de l'université Çukurova, coresponsable des fouilles de Çakmaktepe. Nous sommes en train de montrer qu'ils font partie d'un réseau d'échanges aux structures sociales complexes. »

Jusqu'à-là, Göbekli Tepe était décrit au prisme du néolithique européen récent et mature. « Or on découvre que l'émergence de cette période est longue : elle s'est développée pendant plus de 2000 ans au Proche-Orient avant de diffuser vers l'Europe », raconte l'anthropologue Rémi Hadad, de l'EHESS. →

Violent, viril, sauvage ...

le site célèbre la chasse plutôt que le blé





Les chasseurs-cueilleurs voient leur univers s'effriter au

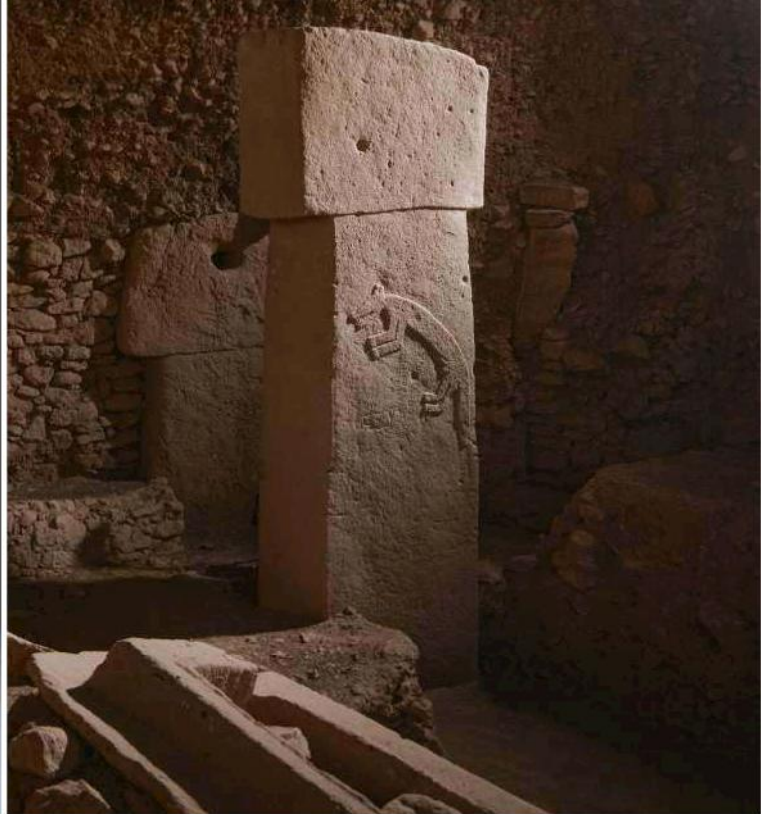
Göbekli Tepe incarne cette nouvelle donne. Il révèle une complexité que l'on n'attendait pas si tôt et n'est même pas caractéristique du néolithique "type" du Proche-Orient, juste de sa toute première partie, avant la domestication des plantes et des animaux. Au fond, il n'est pas si néolithique que ça... » La comparaison avec les sites levantins contemporains, comme Jéricho en Cisjordanie ou Mureybet en Syrie, est frappante. Si on y retrouve les mêmes habitats pérennes rectangulaires, les édifices à piliers comme à Göbekli Tepe sont absents, et les arts différent. « *On a dans le Levant de petites silhouettes féminines en terre cuite, des représentations d'aurochs; à Göbekli, quasi que du masculin sous la forme de bas-reliefs, de rondes-bosses qui sont autant d'exploits techniques, constate Jean-Paul Demoule. On a donc deux cultures et des croyances différentes qui se côtoient.* » Comme si des chemins distincts avaient été pris.

L'anthropologue David Graeber notait en 2021 que dans la partie basse du Croissant fertile, la diversité des environnements et des climats favorisait des cultures variées, permettant à une agriculture balbutiante de tester, d'échanger ses produits. Rien de tel dans les hauts plateaux anatoliens. Si les meules mises au jour prouvent que les céréales sauvages locales étaient récoltées, la chasse imprègne tout. Comme à Çakmaktepe, site légèrement plus ancien que Göbekli Tepe et

cerné de gigantesques systèmes de piégeage. « *Nous y documentons les premiers stades de l'architecture et des rites du réseau, pointe Fatma Sahin. Il n'y a pas encore de piliers de pierre, mais c'est le seul site où des crânes brûlés d'animaux sont déposés. La chasse était une activité majeure, à la fois économique, sociale et symbolique.* » Alors que ses voisins optent pour l'agriculture, le « réseau Göbekli » reste focalisé sur cette pratique ancestrale. Face aux bouleversements de la néolithisation, il opte pour la continuité. Et les édifices de Göbekli Tepe sont les emblèmes de ce combat culturel.

SERPENTS, RENARDS, LÉOPARDS...

Thomas Zimmermann, qui vient d'en analyser l'iconographie et l'éclairage, y voit un lien avec les anciennes grottes ornées: « *Il ne s'agit pas des mêmes peuples bien sûr, mais leurs visions du monde se répondent.* » Rémi Hadad ajoute: « *Ces édifices sans ouverture, auxquels on accédait par le toit comme on pénètre dans les entrailles de la terre, évoquent aussi les grottes ornées en ce qu'ils sont difficiles d'accès, dissimulés, sombres. Je ne dis pas que ces espaces servaient à la même chose, mais en termes d'expériences, ils sont un peu similaires.* » Spécialiste de l'archéologie préhistorique, Oliver Dietrich a mis pendant quinze ans les mains dans la poussière de Göbekli Tepe et se rappelle ses fascinants décors où rôdent



contact des premiers agriculteurs

des prédateurs exclusivement mâles: «*Si les serpents prédominent dans le bâtiment A, les renards s'imposent dans le B et les sangliers dans le C. Dans le D, par contre, l'iconographie est plus diversifiée et les oiseaux y jouent un rôle important. Les félins sont omniprésents dans le H, etc. On a suggéré que des groupes y gravaient ainsi leur identité...*»

Six édifices sont partiellement dégagés; une vingtaine restent enfouis; et les fouilles continuent. En 2023 a ainsi été exhumée une incroyable statue de sanglier en pierre portant des restes de peinture, placée devant une stèle percée d'une niche et ornée de deux personnages sans tête. Une zone d'offrandes? Le sens de cet art fait débat. Symboles de prédation comme l'estime Lee Clare? D'un «entre-deux» comme posé par Rémi Hadad? «*On a des créatures rampantes (serpent), crépusculaires (renard, léopard), psychopompes (vautours)... Ce qui fait sens dans ces espaces comme suspendus entre plusieurs temps. Ces monuments pourraient être liés au changement d'état de qui y entre: accès à certaines fonctions, à un autre statut...*» Thomas Zimmermann a aussi abordé cette hypothèse en 2025: «*Ces édifices quasi fortifiés pouvaient abriter des rites d'initiation. À Sayburç, une scène découverte fin 2022 montre un homme nu cerné de deux léopards exhibant son pénis, et un autre luttant avec un taureau: une épreuve de courage?*»

Graver leurs fondamentaux dans un fabuleux écrin de pierre pour qu'ils ne disparaissent pas dans le tumulte ambiant: l'idée était révolutionnaire. Mais en les fixant, elle les a peut-être condamnés... En 2024, Lee Clare a proposé une mécanique à cette apocalypse paléolithique. Au X^e millénaire avant notre ère, à mesure que les échanges s'accroissent et que s'esquisse le néolithique, certains groupes se raidissent. À l'intérieur, la préservation des croyances traditionnelles s'organise autour d'individus importants. Gagnant en influence, ils accompagnent des manifestations toujours plus ambitieuses destinées à les renforcer: des édifices plus grands, des sculptures plus impressionnantes. Plus le monde bouge, plus rien ne doit changer, jusqu'à la rupture. «*Göbekli Tepe est abandonné vers -8000, au moment de la domestication complète des plantes et des animaux, relève Oliver Dietrich. Parce qu'il servait un système de croyances devenu obsolète?*» En pétrifiant leur civilisation, ceux de Göbekli ont vainement tenté de la sauver. Et lui ont paradoxalement permis de perdurer jusqu'à nous.

NOS SOURCES

Thomas Zimmermann, *Præhistorische Zeitschrift* (2025); Lee Clare, *Documenta Præhistorica* (2024); Jean-Paul Demoule, *Les dix millénaires oubliés qui ont fait l'histoire* (2019). Retrouvez toutes nos sources sur [epsilon.com/sources](https://epsilon.com). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.

CLIMAT, ÉPIDÉMIE,
QUANTIQUE, LANGAGE,
ROBOTIQUE...

ET SI LA THÉORIE
DES CATÉGORIES
ÉTAIT UNE

THÉORIE
DU TOUT

PAR CLÉMENTINE LAURENS

ien des mathématiciens et mathématiciennes en parlent en des termes réservés, voire critiques. « *Quand la théorie des catégories a été développée, certains allaient jusqu'à dire qu'un tel niveau d'abstraction était une absurdité* », rappelle David Spivak, à l'institut Topos, aux États-Unis. C'est donc d'autant plus frappant de voir qu'elle se trouve aujourd'hui mobilisée pour des problèmes très concrets de physique, mais aussi de robotique, de linguistique, d'épidémiologie... La « théorie des catégories appliquée » devient un oxymore en plein essor – une revue scientifique lui est maintenant consacrée et la 9^e conférence annuelle sur le sujet aura lieu en juillet, en Estonie. « *En mathématiques, même quand on essaie activement de faire des choses ultra-déconnectées du monde réel, quelqu'un finit toujours par trouver des applications* », sourit l'informaticienne Jade Master, qui exploite ces objets pour modéliser la propagation des maladies.

Les catégories? John Baez, chercheur à l'université d'Édimbourg, le reconnaît: « *Dans ce champ des mathématiques, les définitions peuvent à première vue sembler mystérieuses.* » Le principe, lui, est relativement simple: une catégorie, c'est juste un ensemble d'objets, reliés entre eux par des flèches. Peu importe la nature des objets, la théorie des catégories se concentre sur la dynamique décrite par les flèches. Et c'est ce qui lui permet de relier des catégories apparemment très différentes, à condition qu'elles partagent la même dynamique.

REPRÉSENTER LA RÉALITÉ

À l'origine, la théorie a été développée dans les années 1940 pour permettre de déployer rigoureusement des transferts d'idées entre, notamment, la topologie, science des formes, et l'algèbre, science des structures. « *Repérer des similarités dans des domaines différents des mathématiques, c'est naturel. Cela fait des siècles qu'on exploite des analogies et qu'on transpose des idées. Mais avant les années 1940, on n'avait jamais imaginé que ces manières d'aller d'un domaine à un autre pouvaient elles-mêmes constituer des objets mathématiques!* », souligne la mathématicienne Valeria de Paiva, à l'institut Topos.

La force de cette théorie, c'est qu'elle permet de composer ses flèches de façon cohérente, de les combiner pour décrire des

processus qui se déroulent de façon séquentielle ou en parallèle. Pas si étonnant, donc, qu'elle ait été rapidement exploitée dans les travaux sur les fondements des mathématiques – une activité qui consiste à dérouler des arguments – et en informatique – ainsi est né, par exemple, le langage de programmation Haskell, encore utilisé aujourd'hui. La linguistique aussi s'est révélée un riche terrain de jeu pour les categoristes. Mais les applications vont bien au-delà. « *En sciences, un très grand nombre de notions et de systèmes peuvent s'écrire comme une série d'instructions à réaliser les unes après les autres ou simultanément. Une recette de cuisine, c'est exactement ça! Les catégories sont donc une représentation naturelle de la réalité* », appuie le physicien Bob Coecke, à l'université d'Oxford, qui a proposé une refondation de toute la mécanique quantique sur ce formalisme, devenu par la suite un langage clé des technologies d'informatique quantique. « *Les catégories sont un excellent substitut à la logique pour structurer un raisonnement scientifique*, approuve David Spivak. *La logique, c'est lent, c'est laborieux. Quand j'ai découvert la théorie des catégories, j'étais émerveillé par sa concision: on peut représenter une si grande quantité d'informations en si peu d'espace! C'est "juste un langage", oui, mais c'est précisément parce que c'est un langage pertinent et extrêmement concis qu'il est un support inestimable pour la pensée.* »

Récemment, les applications ont pris une autre dimension, plus pratique. La preuve: →



UN LANGAGE ABSTRAIT QUI COMMENCE À TROUVER DES APPLICATIONS CONCRÈTES

EN MÉCANIQUE QUANTIQUE

Au début des années 2000, le physicien Bob Coecke et l'informaticien Samson Abramsky développent une refondation de la mécanique quantique basée sur la théorie des catégories. « Dans ce langage très abstrait, on parvient à faire émerger des principes premiers, et à reconstruire des propriétés comme la téléportation quantique, explique Bob Coecke. Des choses qui étaient extrêmement difficiles dans le formalisme habituel deviennent faciles grâce aux catégories. » Cette réécriture a permis de développer un langage graphique particulièrement intuitif, le ZX-Calculus, qui joue aujourd'hui encore un rôle clé dans le développement de l'informatique quantique.

la théorie commence même à investir l'épidémiologie! « Quand le Covid a frappé le Canada, je travaillais pour les autorités de santé publique sur la modélisation et la gestion de l'épidémie, se souvient Nathaniel Osgood, de l'université de la Saskatchewan, au Canada. Et j'ai douloureusement constaté combien nos outils étaient sous-performants par rapport à ce qu'aurait offert le formalisme des catégories. Celles-ci sont tellement adaptées à ce genre de situations où il faut sans cesse mettre à jour les modèles, agréger des données, inclure de nouveaux paramètres... » D'autres travaillent sur des projets en biologie, en robotique, en sciences des matériaux... et même en musique: Bob Coecke développe un outil pour « générer de la "musique catégorique" avec un ordinateur quantique »... Tout un programme! David Spivak se réjouit de ce foisonnement: « J'ai toujours pensé que les maths devaient pouvoir nous aider à expliquer la réalité. »

Et en climatologie? La théorie des catégories semble être un outil de choix pour représenter le fonctionnement d'un système aussi complexe, constitué de nombreuses parties interdépendantes. « Certains théoriciens des catégories aimeraient bien s'y frotter, mais pour ma part je n'ai pas encore rencontré de climatologues

EN LINGUISTIQUE

« C'est de la grammaire! », s'est exclamé le mathématicien Joachim Lambek en découvrant l'application de la théorie des catégories à la téléportation quantique. Il avait préalablement – et indépendamment – exploité les catégories en linguistique pour relier la structure d'une phrase à son caractère grammaticalement correct. « Or, la catégorie qu'il utilisait pour cela était exactement la même que la nôtre en mécanique quantique! », raconte Bob Coecke, qui a ensuite développé avec d'autres « DisCoCat », un cadre mathématique qui relie la structure et le sens du langage. « Cela donne une représentation très naturelle qui combine grammaire et sens », assure le théoricien.

désireux de se lancer », note John Baez. « À ma connaissance, cette théorie n'est pas exploitée par mes collègues », confirme Freddy Bouchet, directeur du Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris.

UN PEU RÉBARBATIF

Car il y a un obstacle, une difficulté classique dans les champs interdisciplinaires, qui est ici singulièrement accrue: le coût d'entrée – élevé – dans ce nouveau formalisme rebute bon nombre de scientifiques. « La théorie des catégories, ce sont des mathématiques sophistiquées qui nécessitent un temps et un effort d'apprentissage », reconnaît Valeria de Paiva. Au début, les progrès sont lents, ce qui, en l'absence de garantie de résultat, peut être un frein. « J'ai indirectement découvert les catégories dans les années 1980, pendant un cours sur les fondements des langages de programmation, et j'ai tout de suite été fasciné, se souvient Nathaniel Osgood. J'avais l'intuition profonde que cela pouvait m'être utile, mais je n'étais pas sûr que l'effort nécessaire pour s'y mettre vraiment en valait la peine. Il m'a fallu plus de trente ans pour finalement me pencher

EN ROBOTIQUE

Concevoir un robot nécessite d'agrèger un grand nombre de décisions sur le choix de l'algorithme, la conception physique du robot, la prise en compte de contraintes éthiques ou légales... « *Quand j'ai commencé dans le domaine, je pensais qu'aucun langage ne permettait de prendre tout cela en compte de manière unifiée*, raconte Gioele Zardini, roboticien au MIT. *Et puis j'ai découvert les catégories. Pour chaque problème, on utilise des représentations sous forme de boîtes, et le formalisme catégorique permet de les combiner. C'est très simple, mais très puissant, ce langage universel !* »

EN ÉPIDÉMIOLOGIE

Comment se propage une maladie selon la population touchée, les capacités des hôpitaux, l'arrivée potentielle de vaccins, de variants? « *Traditionnellement, on modélise cela avec du code informatique classique, mais il peut alors être difficile de changer quelque chose a posteriori, et encore plus de combiner entre eux deux modèles représentant différents aspects du problème* », explique le mathématicien John Baez, pionnier de l'approche catégorique. Jade Master, du laboratoire Coherence Research Limited, témoigne elle aussi de la puissance de ce langage: « *À l'aide des catégories, je modélise la propagation d'une épidémie dans le réseau de métro de Glasgow. Et j'observe la propagation en fonction des fermetures de stations qui peuvent être décidées.* »

dessus, et découvrir tout le potentiel qu'a cette théorie pour l'épidémiologie. »

D'où l'importance de valoriser les accomplissements d'ores et déjà permis par les catégories, exhorte le roboticien Gioele Zardini, au MIT: « *Le discours consistant simplement à dire: "Regardez, cette catégorie décrit remarquablement bien votre problème" ne convaincra jamais un ingénieur. Pour faire adopter un nouvel outil, il faut montrer que cette nouvelle description est une clé vers la résolution du problème.* » Bob Coecke insiste: « *Pour pouvoir parler de "théorie des catégories appliquée", moi, je veux qu'il y ait un po-*



tentiel d'applications industrielles – et c'est le cas en informatique quantique! » Jade Master, elle, tempère: « *En ce moment, il y a pas mal de sensationnalisme autour de la théorie des catégories appliquée, mais il faut rappeler que ce n'est pas non plus une formule magique. Cela aide à organiser les informations, dévoiler les structures, clarifier les idées... C'est puissant, mais ça ne permettra pas non plus de répondre à toutes les questions.* »

Reste que l'une des plus fascinantes applications n'est peut-être pas pratique... mais philosophique. Car un nouveau langage offre toujours une nouvelle perspective. « *Les catégories invitent à penser le monde en termes de ce qui "advient" plutôt que ce qui "est"* », résume Bob Coecke. De quoi raviver un vieux débat qui remonte à l'Antiquité, entre d'une part Parménide, défenseur d'une réalité statique et d'une vision réductionniste, dans laquelle les choses ne se comprennent qu'en dévoilant leurs constituants élémentaires; et d'autre part Héraclite, pour qui le monde n'est que processus, où rien ne demeure, tout se meut, tout est éternellement en devenir. « *La théorie des catégories nous apprend à oublier le réductionnisme et à embrasser pleinement le relationnisme, comme le promouvait Leibniz* », analyse Bob Coecke. Après des siècles d'une science dominée par la vision de Parménide, et si c'était l'heure de la revanche d'Héraclite?

NOS SOURCES

John Baez et al., *arXiv* (2023); John Baez et al., *AMS* (2022); Tai-Danae Bradley, *arXiv* (2018); Brendan Fong et al., *arXiv* (2018). Retrouvez toutes nos sources sur epsilononline.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilononline*.



ECC

VACCINI ANTI AÏNE

La piste

PAR FIORENZA GRACCI

DEUX VACCINS VIENNENT DE PASSER LES PREMIERS ESSAIS

a piste que suivent depuis plus de trente ans une poignée d'équipes obstinées est longue et escarpée: la recherche d'un vaccin contre la drogue, capable d'immuniser contre ses effets. Sous ses allures d'élixir miraculeux –et moyennement crédible– se cache en fait un concept simple: déclencher la fabrication d'anticorps, comme

n'importe quel vaccin, sauf qu'ici, ils ne neutralisent pas la bactérie du tétanos ou le virus de la rougeole, mais la molécule de cocaïne. Et ce, avant qu'elle n'atteigne le cerveau, pour l'empêcher d'allumer le feu d'artifice de plaisir, d'émotions et de motivation dont elle a le secret, et auquel il est si difficile de renoncer quand on est tombé dans la dépendance.

IL Y A URGENCE

Aujourd'hui, aucun médicament n'est disponible pour aider à s'extirper de cette addiction. Pire: on prescrit parfois à tort des antidépresseurs inefficaces ou des neuroleptiques qui peuvent aggraver la situation. Sachant que 10 à 25% des personnes qui consomment de la cocaïne finissent par développer un «trouble de l'usage». *«Les conséquences sont d'autant plus lourdes que l'usage est fréquent: anxiété et dépression, rétrécissement des artères et autres complications cardiovasculaires, lésions ORL parfois irréversibles, atteintes rénales, sans compter les comportements à risque et les maladies infectieuses dues au partage de matériel»*, liste l'addictologue Hélène Donnadieu, cheffe de service au CHU et professeure à l'université de Montpellier. Et même si plusieurs traitements d'aide au sevrage sont à l'étude, aucun ne présente à ce jour une balance bénéfices-risques favorable.

dAd5GNE

Une équipe du Weill Cornell College, à New York, est parvenue à lier une molécule analogue à la cocaïne, le GNE, aux protéines extérieures d'un virus inactivé. Objectif: déclencher une réaction immunitaire. Un essai clinique de phase 1 de 32 semaines, sur 10 consommateurs endurcis, vient de s'achever. Résultat: l'injection mensuelle est associée à une baisse de 17% de la cocaïne retrouvée dans les urines et de 27% du syndrome de manque. L'équipe cherche à la rendre plus efficace en modifiant les protéines virales.

Or, il y a urgence. Il neige de la cocaïne partout. *«La situation est très préoccupante»*, exposait fin janvier l'Inserm, l'Institut national de la santé et de la recherche médicale, dans une expertise multidisciplinaire. Il faut dire que l'offre a doublé ces dix dernières années, les fabricants ont étendu les cultures de coca, intensifié les rendements, purifié le produit final, un alcaloïde extrait de la feuille. La distribution est devenue tentaculaire et la poudre blanche est livrée à domicile, commandée sur des applis. Les prix ont chuté –en moyenne 70-80 euros le gramme, 10 à 20 euros le petit format– et la demande est en pleine expansion. À l'échelle mondiale, c'est un marché florissant de 25 millions de consommateurs en 2023. Et la France est particulièrement concernée: c'est aujourd'hui la deuxième drogue derrière le cannabis, avec un quasi-doublement des usagers en six ans –de 600 000 en 2017 à 1,1 million en 2023. Une personne sur dix a déjà essayé au moins une fois la cocaïne en poudre, alors qu'en 2000 on était en dessous des 2%. Même le crack, sa version fumable en cristaux obtenue en la mélangeant à de l'ammoniac ou du bicarbonate, grimpe: +70% entre 2015 et 2021. Au total, les demandes de soins ont doublé entre 2015 et 2019, les délais d'attente s'allongent...



Calixcoca

Ce vaccin est fondé sur un calixarène. Cette structure chimique synthétique est conçue pour présenter de façon idéale la molécule qui imite la cocaïne et favoriser la réaction immunitaire. Chez les 5 ouistitis testés, le vaccin est très sûr et produit des taux élevés d'anticorps anticocaïne dès le septième jour. Chez les rongeurs, il marche aussi contre le crack, et pour protéger les fœtus. La phase 1 des tests chez l'humain doit démarrer avec 30 abstinents et la phase 2 inclura 300 volontaires désireux de le devenir.

«En moyenne, un usager avec un trouble de l'usage ne consulte que treize ans après sa première consommation», souligne Hélène Donnadieu, qui a participé à l'expertise de l'Inserm. Nous sommes face à «une crise multidimensionnelle: sanitaire, sécuritaire, sociale, dont les trois composantes sont indissociables», affirme Clotilde Champeyrache, directrice du pôle Sécurité, défense, renseignement, criminologie, crises et cybermenaces du Conservatoire national des arts et métiers.

«Addictions, il faudrait un vaccin!»: j'ai lu ça il y a longtemps en couverture de Newsweek, raconte Ronald Crystal, chercheur en médecine génétique au Weill Cornell College. Nous nous sommes lancés, et aujourd'hui, nous savons comment le faire.»

Il est vrai qu'au premier abord, l'idée se heurte à un mur biologique: l'organisme ne s'immunise pas contre une molécule aussi petite que celle d'une drogue – il ne reconnaît que les grosses protéines ou matières étrangères: virus, bactéries... Mais dès 1993, des recherches italo-russes ont confirmé ce que des articles suggéraient au début des années 1970: oui, on trouve des anticorps dirigés contre les opiacés dans les cheveux d'usagers de la morphine! «Une drogue est toujours contaminée par des substances étrangères: ce sont sans doute celles-ci qui stimulent la production d'anticorps», avance le psychiatre Frederico Garcia, à l'université fédérale du Minas Gerais, au Brésil. Peu importe que le mécanisme ne soit pas élucidé: reproduire par la pharmacie cette immunisation naturelle n'est plus impensable.

BIEN CIBLER LES PATIENTS

L'idée germe alors de lier la cocaïne à autre chose de plus gros, pour que les patrouilles immunitaires la détectent. À l'époque, Ronald Crystal songe aux adénovirus. «Ils sont extrêmement immunogènes: nous nous sommes dit que si nous parvenions à accrocher à leur coque un analogue de la cocaïne, le système immunitaire croirait qu'elle en fait partie, et monterait des anticorps contre elle.» Des essais sur les souris sont présentés en 2011, puis vient le tour des rats, des macaques... et au printemps dernier, l'équipe communique enfin les résultats du premier essai clinique. Testé chez 10 consommateurs lourdement dépendants, le produit se montre très sûr, réduit la probabilité de retrouver de →

la cocaïne dans leurs urines et de ressentir les effets du manque. Mais son concepteur veut l'améliorer: «*Il ne guérit pas le trouble de l'usage et nécessite en plus des injections mensuelles, sans quoi le taux d'anticorps sanguins s'estompe.*» Son équipe travaille à synthétiser des protéines d'adénovirus plus immunogènes chez la souris, avant de repasser aux essais chez l'humain...

L'autre défi: définir à quels patients ce vaccin bénéficierait le plus. «*Il pourrait être encore plus efficace pour les gens qui essaient péniblement de décrocher; sans être des consommateurs chroniques importants*», postule Ronald Crystal. La sélection des patients est l'un des points sur lesquels avait buté le premier vaccin anticocaïne expérimental, le TA-CD conçu par Barbara Fox, et mis à l'essai chez l'humain en 2000. Repris ensuite par Thomas Kosten, à l'école de médecine Baylor, à Houston, il a gravi les échelons jusqu'à la dernière phase des essais cliniques, en 2014. Mais là, déception: seul un tiers des 300 sujets montrait des anticorps en nombre suffisant, et les bénéfices restaient modérés. «*Une erreur a été d'enrôler des consommateurs qui n'avaient pas vraiment envie d'arrêter et qui ont augmenté leurs prises pour contrecarrer les effets du vaccin, pointe Colin Haile, addictologue à l'université de Houston. Et la formulation chimique n'était pas non plus idéale: la toxine du choléra n'est pas un bon transporteur; et l'hydroxyde d'aluminium, l'adjuvant stimulant l'immunité, est dépassé.*»

PLUS SI FOU

Entré plus tard dans la course, Frederico Garcia avait dès le départ les idées claires. «*Nos essais visent les personnes déjà motivées. Le vaccin ne fait pas disparaître le terrible syndrome de manque.*» Incapacité à ressentir le plaisir, aversion, dépression, anxiété: l'état de manque peut persister jusqu'à six mois. «*C'est l'afflux de consommatrices enceintes dans nos services qui a lancé nos travaux*», partage le chercheur. L'exposition in utero à la cocaïne entraîne des retards cognitifs, des difficultés d'attention, un risque

accru d'addictions... En 2018, l'équipe teste sur des rates une première formule contre la cocaïne et le crack et obtient des anticorps qui passent dans le placenta et le lait, améliorent la survie, le poids et la résistance à la drogue des petits. En 2023, le vaccin passe les tests de sécurité chez les ouistitis. Il est en passe de démarrer une première phase d'essais avec 30 patients abstinents, et une phase 2 doit suivre avec 300 autres souhaitant décrocher.

Les chercheurs ont changé de transporteur: ils misent sur une structure de quatre anneaux de benzène qui arrime quatre exemplaires de la molécule imitant la cocaïne. Contrairement aux autres vaccins, elle est chimiquement très stable, économique, et s'affranchit de la chaîne du froid.

Colin Haile a fait évoluer le concept pour l'appliquer à une nouvelle urgence sanitaire aux États-Unis, le fentanyl, cet opioïde hyperpuissant qui a causé la mort de 400 000 personnes durant la dernière décennie. Avec un résultat spectaculaire: le vaccin bloque les effets analgésiques chez 100% des rongeurs! «*Vaccin antidrogue*»? On n'en est plus si loin. Le chercheur avance que l'efficacité est sans doute due à la capacité

de la substance à stimuler les IgA, les anticorps produits au sein des muqueuses, porte d'entrée de la drogue. Il parvient à adapter la formule à la cocaïne: la protéine porteuse est une toxine diphtérique génétiquement désactivée; l'adjuvant, une toxine issue de la bactérie intestinale *E. coli*; la molécule imitant la cocaïne reste secrète. «*Il est important d'avancer en parallèle sur ces deux drogues: la cocaïne est très souvent coupée au fentanyl, on peut faire une overdose sans le savoir*», met en garde l'addictologue.

Et d'autres vaccins sont en cours de développement. Contre la nicotine, la méthamphétamine, l'oxycodone, un opioïde détourné de son usage analgésique. Aucun n'a abouti pour l'heure... mais la piste est sérieuse. «*Les vaccins sont la plus grande contribution de la médecine à la santé humaine et dans les 50 prochaines années, les remèdes les plus efficaces viendront des immunothérapies; j'espère qu'elles obtiendront un soutien mondial*», conclut Thomas Kosten. «*Il faudrait un vaccin!*» Le titre de *Newsweek* n'est plus si fou.

NICOTINE, METH, OPIOÏDES... DE NOUVEAUX PROJETS SONT LANCÉS

NOS SOURCES

«*Expertise collective ciblée: cocaïne*», Inserm (2026); Annual Meeting of the American Society for Cell and Gene Therapy (2025); Sabato et al., *Vaccine* (2023). Retrouvez toutes nos sources sur epsiloon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsiloon*.

POP, SCIENCE



MAI 2026

« LA SCIENCE
N'EST RIEN DE
PLUS QUE LE
RAFFINEMENT
DE LA PENSÉE
COMMUNE »

ALBERT EINSTEIN

Mars influence le climat de la Terre

*Astronomical Society of
the Pacific, 2025*

Elle a beau se trouver à plus de 50 millions de kilomètres et être 10 fois moins massive que la Terre, l'influence gravitationnelle de la Planète rouge joue un rôle sur nos grandes périodes glaciaires. C'est ce qu'a découvert le planétologue Stephen Kane, de l'UC Riverside, en simulant l'impact d'une absence de Mars sur l'inclinaison de l'orbite terrestre, et donc sur notre ensoleillement. Résultat : deux cycles climatiques majeurs, de 100 000 et

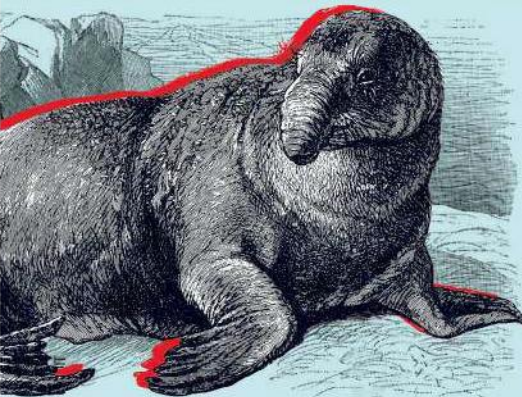


2,4 millions d'années, disparaissent. « *Je ne m'attendais pas à une telle influence* », avoua-t-il. Pas de quoi concurrencer toutefois les effets de notre plus proche voisine Vénus, et ceux du mastodonte Jupiter. **v.g.**

Les éléphants de mer ont une bonne mémoire

Meeting of the Acoustical Society of America and Japan, 2025

On savait que les mâles sont capables de reconnaître la voix de leurs concurrents. Une nouvelle étude suggère que ces gros mammifères marins s'en souviennent longtemps. Sept mâles confrontés à des enregistrements effectués durant des observations passées, ne s'y trompent pas. Le rival est un dominé ? Ils attaquent. Un dominant ? Ils optent raisonnablement pour la fuite. **n.b.**



SOMMAIRE

85

FUN FACTS

Mars, éléphants de mer, yeux, morceaux cassés, os de baleine, après-midi, miaulements...

88

CULTURE SCIENCE

Stand-up scientifique : l'humour de la science

90

INSTANT GEEK

Voiture solaire, métal flottant, petit pixel, drone en bambou, cellules qui jouent à *Doom*, caméra ultrarapide, gilet airbag...

94

LIFE

Boire du café et bien dormir ; avoir l'esprit d'équipe ; savoir reconforter ; vivre près de sa famille ; n'en faire qu'à sa tête ; jurer pour être plus fort.

96

Dans la machine
Les articles auxquels
vous avez échappé.

Les plantes grandissent surtout l'après-midi

Science, 2025

La preuve avec la plante modèle *Arabidopsis thaliana*, qui pousse toujours plus en fin de journée. « Les plantes comptent en quelque sorte le nombre d'heures de lumière reçues chaque jour », décrit le biologiste Joshua Gendron, à l'université Yale de New Haven. Et elles accélèrent leur croissance seulement lorsqu'un

quota d'heures de lumière est atteint. Lorsque les jours rallongent, au printemps et en été, les conditions sont optimales. Un seul gène — appelé MIPS1 — semble gérer cette horloge : sa suppression engendre des défauts de croissance pendant les longues journées, mais pas pendant les courtes. **A.P.**



43 184 / M²

C'est la densité d'animaux qui vivent en mer Baltique autour des bombes immergées lors du démantèlement des bases allemandes après 1945.



Les objets se brisent tous de la même façon

Physical Review Letters, 2025

Emmanuel Villermaux, spécialiste de la fragmentation à Aix Marseille Université, s'est posé une question très générale : parmi toutes les façons possibles pour un objet de se briser, quels sont les résultats les plus probables si la rupture est aussi aléatoire que possible ? « L'idée centrale est que la fragmentation peut être abordée d'un point de vue statistique, et pas seulement mécanique, admire Kun Ferenc, à l'université de Debrecen, en Hongrie. Or, dans ces conditions, une loi générale émerge sur la taille des fragments en fonction de la dimension de l'objet qui se brise. » Plus l'impact est fort, plus les fragments sont nombreux et petits. Mais d'après cette analyse, quel que soit l'objet à casser, la distribution des tailles de ces fragments suit toujours une « loi de puissance » dont l'exposant est de 3,5 pour les objets en 3D (que ce soit un morceau de sucre ou une gouttelette), de 2,4 pour les objets en 2D (une plaque de verre) et de 1,3 pour les objets unidimensionnels (un spaghetti). **A.P.**



80 jours

C'est la durée record de la tempête solaire observée au printemps 2024.

On cligne moins des yeux quand on est concentré

Trends in Hearing, 2025

Assis dans une pièce insonorisée en fixant une croix sur un écran, cinquante adultes ont écouté de courtes phrases diffusées dans un casque, avec un bruit de fond plus ou moins fort, tandis que leurs clignements de paupières étaient enregistrés à l'aide de lunettes de suivi oculaire. Conclusion : nous clignons systématiquement moins des yeux lorsque des informations importantes nous sont présentées – et d'autant moins quand la parole est plus difficile à comprendre. « Nous cessons de cligner des yeux pour ne rien manquer de ce qui est dit, analyse la première autrice Pénélope Coupal, à l'université Concordia. C'est une stratégie d'attention. » A.P.

Les chats miaulent plus avec les hommes

Ethology, 2025

« Observer que seul le sexe a un effet significatif sur la fréquence des vocalisations était quelque peu surprenant au vu des études antérieures », relève Yasemin Salgiri Demirbas. La chercheuse a équipé 31 personnes de caméras pour filmer les réactions de leur chat quand elles rentraient chez elles. Les autres facteurs testés – le sexe du chat, son âge, sa race, s'il a été acheté ou adopté, le nombre de congénères dans le foyer... – n'ont rien donné. Seul le sexe du maître influence le comportement de l'animal. « Les vocalisations seraient apparues au cours de la domestication afin d'attirer l'attention humaine, et nous savons que les femmes sont généralement plus attentives aux états émotionnels et aux

signaux de communication que les hommes ; une explication plausible est donc que les chats doivent déployer plus d'efforts pour obtenir une réponse de leur part », interprète-t-elle. N.B.



Les hommes préhistoriques sculptaient des os de baleine

173 outils, surtout des armes, sculptés à partir d'os de cinq espèces de baleines ont été retrouvés sur deux sites archéologiques français et espagnol. Fabriqués entre 20000 et 14000 ans avant notre ère, ce sont les plus anciennes preuves d'un travail de ce type. L.V.

Avant, les requins vivaient dans les profondeurs

C'est ce qui ressort de l'analyse morphologique et écologique de 452 espèces actuelles de requins : leur ancêtre commun évoluait près du fond des océans. Le superprédateur dont l'aile fend la surface est apparu il y a seulement 200 millions d'années. V.N.

1,62

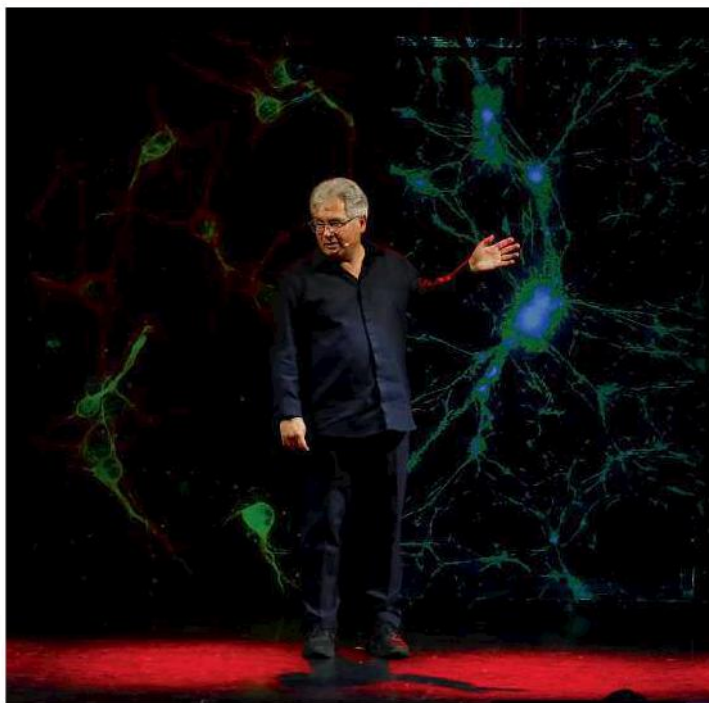
C'est le nombre moyen de mutations par an qui altèrent l'ADN des spermatozoïdes

Stand-up scientifique L'humour de la science

David Elbaz, Célia Pelluet et Éric Lagadec sont scientifiques le jour et comédiens le soir : chacun met en scène à sa façon la dimension profondément drôle de la science.

La science, c'est drôle. Alexandre Astier l'avait montré, il y a une dizaine d'années, avec son excellente *Exoconférence*. Plusieurs spectacles prolongent aujourd'hui l'expérience. « *Via l'humour, on veut amener les gens à réfléchir à la science, car pour apprendre, il faut une émotion. En sortant, les gens nous disent : on a appris des choses et on a ri, et ça, ça me plaît* », témoigne Éric Lagadec, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur, qui parcourt depuis trois ans les salles de spectacle avec l'humoriste Guillaume Meurice pour leur spectacle *Vers l'infini (mais pas au-delà)*. « *Pour moi, l'humour c'est une façon de dire qu'on est fragile, qu'on ne sait pas, qu'on a peur. C'est un*

déséquilibre. Une façon de toucher chaque personne dans la salle via notre singularité », confie de son côté l'astrophysicien du CEA David Elbaz, qui raconte l'Univers dans *Dans les étoiles* sur la scène de la Gaîté Montparnasse, à Paris, en parlant de son enfance, de sa grand-mère qui cuisinait le couscous et de son père qui avait réponse à tout. Célia Pelluet, ingénieure au CNES, elle, a osé mettre en scène sa soutenance de thèse sur les capteurs quantiques. Son spectacle *Les Particules hésitent aussi* est actuellement en rodage. « *L'idée, c'est que les particules ont le syndrome de l'imposteur, un peu comme moi. Elles ne savent pas trop où elles vont, mais finalement ce n'est pas grave, puisque la nature est faite comme ça. La comparaison*



SPECTACLES

DANS LES ÉTOILES

David Elbaz.
Jusqu'au 6 juin au
théâtre de la Gaîté
Montparnasse, à Paris

LES PARTICULES

HÉSITENT AUSSI

Célia Pelluet.
À Paris jusqu'au
20 juin, à Lyon les
8 et 9 mai, à Lille
les 18 et 19 septembre

VERS L'INFINI

(MAIS PAS AU-DELÀ)

Guillaume Meurice
et Éric Lagadec,
en tournée en France
et en Belgique
jusqu'en octobre

MARC-AUSSET/LACROIX / BESTIMAGE - PASCAL GEY - LOUZART



Chercher le décalage

Qu'est-ce qui fait rire dans la science? « Pour moi, il y a deux choses, répond Célia Pelluet. D'abord, il y a la vie du scientifique, avec un décalage entre l'idée qu'on s'en fait et la réalité. Mais surtout, il y a la nature, qui peut être absurde, bizarre, surtout dans la physique quantique. On rit beaucoup dans mon labo, du comportement des atomes notamment. Car dernière, il y a l'émerveillement »



est l'un des procédés les plus efficaces en humour comme en vulgarisation scientifique », explique la scientifique, chroniqueuse dans l'émission *La Dernière* sur Radio Nova.

Ces stand-upers scientifiques y voient aussi une façon de lutter. « On est dans une situation de crise majeure du rapport à la connaissance et à la vérité, on ne peut pas se contenter de parler à ceux qui ont déjà une affinité pour la science. L'humour, c'est une porte d'entrée pour tous, et c'est ça qui m'intéresse », insiste David Elbaz. « On sent qu'il y a un combat mené contre la science, abonde Célia Pelluet. Nos armes pour convaincre, c'est la bonne humeur, le rire et la poésie. »

AGENDA



LIVRE

Dernières nouvelles des origines de la vie

Le paléogéologue raconte sa découverte bouleversante en 2008, au Gabon, de fossiles vieux de 2 milliards d'années.

En librairie depuis le 9 avril
Par Abderrazak El Albani,
Allary Éditions, 192 p., 19,90 €

EXPOSITION

Création, entre arts et mathématiques

Œuvres à l'appui, 27 artistes et scientifiques montrent comment maths et arts s'enrichissent et s'interrogent.

Du 9 avril au 25 juillet
À la Maison Poincaré (à Paris), 10 €

LIVRE

Frontières vivantes

Drôle de quête de liberté. Un écologue nous fait traverser les membranes, les peaux et toutes les porosités du monde.

En librairie à partir du 6 mai
Par Jérôme Sueur,
éditions Actes Sud, 208 p., 20 €

FESTIVAL

Pint of science

Des scientifiques discutent de leurs travaux dans des cafés. De jolis moments de rencontre.

Du 18 au 20 mai
Partout en France, 2 €

SPECTACLE

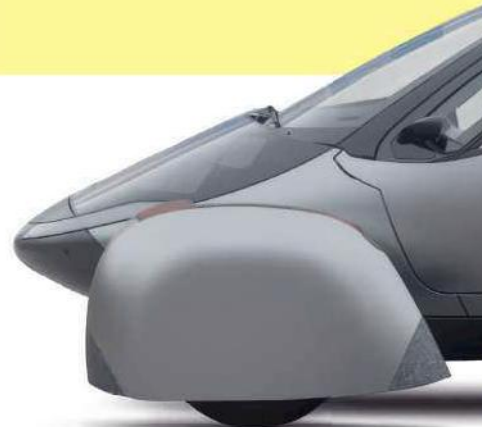
Jules Verne, le Voyage extraordinaire

Une déambulation magique avec des comédiens qui font revivre les rêves de l'écrivain et les aventures de ses héros.

Prolongations jusqu'à mi-juin
Le Grand Hôtel des Rêves, à Paris,
à partir de 19,99 €

La voiture solaire

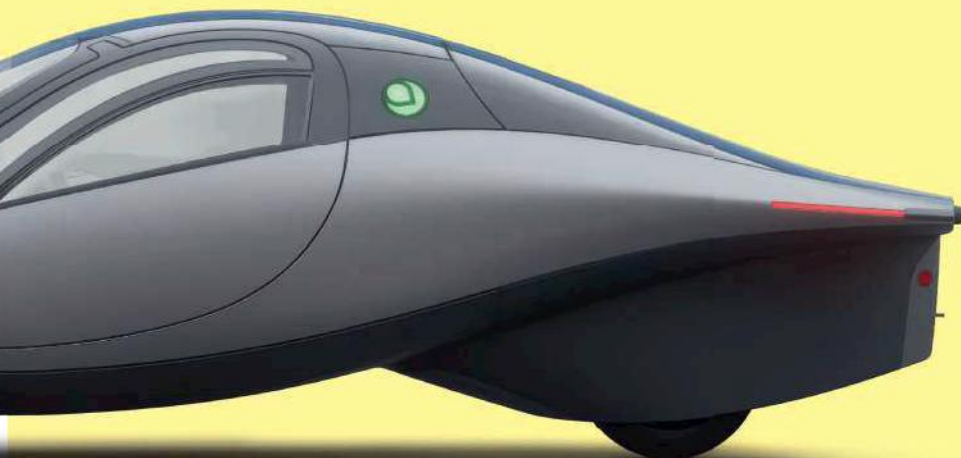
Après 20 ans de rebondissements, l'entreprise californienne Aptera Motors annonce avoir franchi une étape importante. Un modèle de pré-série de son véhicule solaire à 3 roues vient de sortir de la ligne d'assemblage. Sa promesse: une autonomie de 650 km, dont 60 par jour fournis par les seuls panneaux installés sur sa carrosserie. Certification? Commercialisation? On attend la suite...



Saisi en image stroboscopique, ce petit engin de la taille d'une grosse abeille est en train de réaliser 10 sauts périlleux en 11 secondes! Même le petit vent simulé en laboratoire pour tester son agilité ne l'a pas perturbé. La prouesse a été réalisée au Massachusetts Institute of Technology. On la doit à un nouveau système de contrôle à base d'IA, qui s'apprête à révolutionner les capacités de vol jusqu'ici sommaires des minidrones. Ouvrant de nouvelles perspectives, notamment pour des opérations de prospection en environnement sensible, ou lors de catastrophes naturelles.

Un robot agile comme un insecte



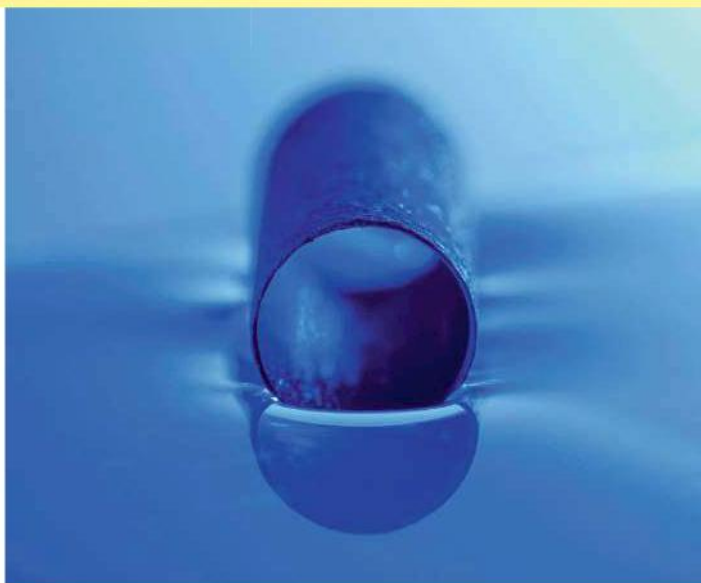


Le plus petit pixel du monde

C'est une cellule lumineuse de seulement 300 x 300 nanomètres ! Les chercheurs de l'université de Würzburg qui l'ont conçue la pilotent avec des électrodes et des antennes en or. Prochaine étape : la connecter avec d'autres cellules pour former de minuscules écrans OLED qui pourraient équiper des lunettes connectées...

Le métal qui flotte

Ce tube d'aluminium défie les lois de la gravité : il ne coule pas. Son secret, une surface interne gravée de nanocavités qui emprisonnent l'air et le rendent super-hydrophobe. Même en cas de forte inclinaison dans l'eau ou de trous dans le tube, il continue de flotter, assurent les ingénieurs de l'université de Rochester qui l'ont mis au point. Une belle piste pour fabriquer des embarcations, des plateformes et autres bouées insubmersibles.



Des cellules qui jouent à Doom

200000 neurones humains réunis sur une puce électronique qui jouent tout seuls ! C'est la nouvelle prouesse réalisée par la start-up australienne Cortical Labs avec ce célèbre jeu vidéo de tir – après le plus rudimentaire Pong, en 2022. Le principe : les neurones reçoivent des informations sous forme de stimulations

électriques (arrivée d'ennemis à gauche, à droite...) et y répondent par une activité neuronale traduite en actions (tirs). *« Ces systèmes sont extrêmement économes en énergie et naturellement capables d'apprendre et de s'adapter, mieux qu'un ordinateur classique. Cela les rend intéressants pour étudier l'intelligence ou développer de nouveaux paradigmes informatiques »*, détaille un des experts de Cortical Labs.

Un nouveau concept d'ascension mécanique

Escalators, ascenseurs et tapis roulants s'enchaînent sur 905 m de long et 242 m de dénivelé. Près du barrage des Trois Gorges, en Chine, cette piste mobile inaugurée en février dernier permet de relier en 20 minutes deux parties éloignées d'un village de montagne.



La minibatterie nucléaire

« Après 4 ans de travail, nous sommes arrivés à cette cellule de 16 mm² qui produit 2,5 nanowatts. Cela peut sembler modeste, mais nous pensons atteindre 15 microwatts grâce à des empilements », annonce Manoël Jacquemin, chez Diamfab. Cette entreprise française vient, avec STMicroelectronics, de dévoiler un premier démonstrateur à base de tritium et de diamant destiné à fournir, à partir de la désintégration d'atomes, de l'électricité non-stop pendant 20 ans. Prochaine étape: l'industrialisation pour des capteurs spatiaux, militaires ou médicaux.

Un drone en bambou

Il mesure 2,5 m d'envergure, pèse 7 kg, fait des pointes à 100 km/h, et les premiers tests montrent qu'il résiste bien mécaniquement aux conditions de vol. Avec son fuselage en partie fabriqué en bambou, l'entreprise chinoise qui l'a mis au point annonce qu'il est 20% plus léger que ses concurrents en fibre de carbone. Sa conception serait aussi 20% moins coûteuse et il serait plus facile à recycler. Une techno qui pourrait faire des émules.



L'arroseur connecté

Il a la forme d'un simple cylindre de 58 cm de haut que l'on pose au milieu du jardin, et émet une sorte de pluie naturelle à 360° sur une surface de 445 m². A priori, rien de surprenant. Mais l'Irrisense 2 peut aussi, grâce à des capteurs embarqués et une

appli météo associée, différer ou augmenter son arrosage tout seul, en temps réel. Et ses programmes sont personnalisables: puissance, fréquence, horaires en fonction de 10 zones différentes et des plantes... De quoi économiser, selon l'entreprise Aiper, jusqu'à 40% d'eau par rapport à un arroseur classique.

Une caméra ultrarapide

Elle détecte les mouvements plus vite que l'œil humain. C'est 4 fois mieux que les meilleures caméras actuelles. Le secret de ce système de vision par ordinateur: ses transistors qui imitent le fonctionnement des synapses du cerveau.

L'airbag qui se porte comme un gilet

Ce n'est pas le premier du genre, mais la nouvelle version d'airbag de corps proposée par Décathlon et In&motion est impressionnante. Le gilet en textile technique n'est pas seulement bardé de capteurs, il est aussi équipé d'un module d'analyse des données qui suit les mouvements du cycliste ou du cavalier qui le porte 1 000 fois par seconde. Et déclenche en cas de chute le gonflement de l'airbag en 60 millisecondes. Il protège ainsi l'abdomen, le thorax, le cou et la colonne vertébrale.



IDÉE NEUVE



Des bruits parasites contre le piratage audio

« Face à certains usages abusifs de l'IA générative, nous avons d'abord travaillé sur une méthode de protection des œuvres visuelles. Puis nous avons voulu faire la même chose pour la musique », se souvient Ilke Demir, fondatrice de la start-up Cauth AI. Avec des chercheurs de l'université américaine de Binghamton, cette informaticienne a développé My Music My Choice, un antiviol numérique audio. Le principe: il distord la piste de façon imperceptible pour une oreille humaine. « Notre modèle génératif apprend à créer une version identique à la voix humaine, mais qui contient ce qu'on appelle des "poisons", des signaux dans les fréquences les plus élevées qui neutralisent les modèles de clonage vocal. » Ce qui suffit à perturber la reproduction: l'IA génère alors au mieux un son brouillé. Après l'avoir testé avec succès sur 150 morceaux appartenant à des genres musicaux différents, l'équipe prévoit de « rendre le modèle plus généralisable », en l'entraînant sur de plus grandes bases de données. N.B.

Les buveurs de café dorment mieux

Journal of Psychopharmacology, 2025

Le rapport entre café et sommeil est plus compliqué qu'il n'y paraît... De nombreuses expériences ont montré que la consommation de caféine altère la qualité du sommeil. Et voilà qu'une équipe néerlandaise et suisse qui a étudié pour la première fois l'impact d'une

consommation quotidienne sur la population réelle trouve l'inverse. En tout cas, chez les gros consommateurs – plus de 4 tasses par jour. Les chercheurs ont analysé le sommeil d'un demi-million de personnes par polysomnographie pendant toute une nuit en mesurant les ondes électriques

de leur cerveau et font ressortir un phénomène d'adaptation. Certes, ils dorment significativement moins, entre -11 et -229 min par nuit. Mais leurs ondes delta sont 10 % plus intenses, signe qu'ils plongent dans un sommeil plus profond ! Pas certain que ça compense complètement...



Dès 2 ans, les enfants ont l'esprit d'équipe

PNAS, 2026



Des psychologues de l'université de l'Illinois ont présenté à 108 enfants des saynètes avec un groupe d'acteurs dans lesquelles ils devaient choisir un jouet. Résultat : non seulement ils respectaient le choix de leur groupe, mais, face à un inconnu, ils maintenaient cette préférence. Comme s'ils avaient mis de côté leurs goûts personnels par solidarité. Sachant qu'à l'inverse, quand ils étaient seuls, les enfants s'orientaient vers le jouet qu'ils préféraient vraiment. Et les chercheurs de conclure que, dès 2 ans, « les individus sont porteurs d'une identité personnelle et d'une identité sociale ».

Pour reconforter quelqu'un, il faut dire « je » et « tu »

Emotion, 2025

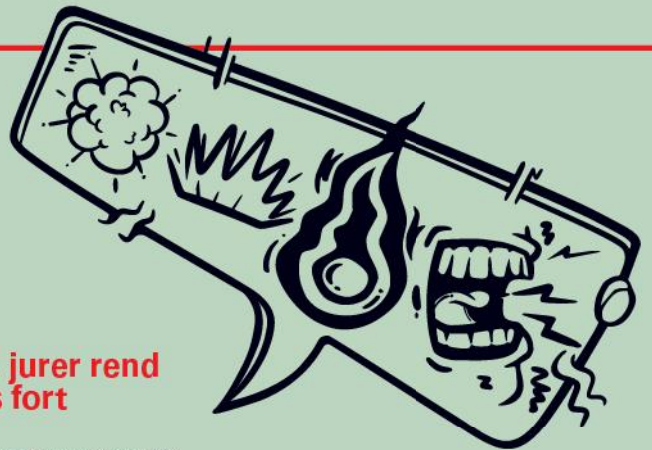
C'est ce que révèle l'analyse de 6 min de conversation entre 114 paires d'inconnus interrogés par des psychologues américaines. Parler de soi (« je »), dire « ça m'est arrivé », est ce qui remonte le plus le moral d'une personne qui vous confie ses malheurs. Et lui parler d'elle (« tu »), poser des questions, la paraphraser, lui permet de se sentir écoutée.



On n'en fait vraiment qu'à notre tête

Nature Communications, 2026

La preuve: même quand on est prévenu de tous les risques encourus, nous ne faisons pas toujours le choix le plus sûr. Au contraire. Une équipe française vient de mettre en évidence cette tendance paradoxale au cours d'un protocole de jeu de hasard: les joueurs avaient le choix entre miser sur une option risquée (par exemple, 10% de chances de gagner 40 points) et sur une plus sûre (100% de chances de gagner 5 points). Résultats à l'appui, les chercheurs informaient ensuite les joueurs des points qu'ils auraient pu gagner en misant sur l'autre option, afin d'éclairer leur choix au cours des parties suivantes. Sauf que pas du tout. «*Le feedback n'améliore pas la maximisation des gains, mais augmente invariablement la prise de risque*», concluent-ils. Pire: savoir qu'on aura ce retour sur résultat après chaque manche augmente la probabilité de faire le choix le plus risqué. Curiosité? Peur de regretter d'avoir été trop sage?



Habiter près de sa famille rend agressif

Journal of Personality and Social Psychology, 2025

Frères, sœurs, oncles, tantes... La présence de parents près de chez nous influence nos opinions les plus extrêmes, avance une étude américaine. Après avoir établi à quel point elles étaient proches physiquement et affectivement de leur famille, les chercheurs ont interrogé 220 personnes vivant aux États-Unis, au Ghana et aux Philippines: faites-vous confiance à vos voisins? Êtes-vous favorable à la peine capitale en cas de meurtre? Êtes-vous prêt à vous battre pour défendre votre pays? Invariablement, plus la famille est proche, plus ils se montrent agressifs envers les personnes extérieures. Ce serait sans doute lié à un fort sentiment de dépendance à leur communauté.

Oui, jurer rend plus fort

American Psychologist, 2025

Assis sur une chaise, 300 volontaires devaient soulever leurs fesses et tenir le plus longtemps possible en équilibre sur les mains. Or ceux qui proféraient leur juron préféré toutes les 2 secondes ont résisté 10% plus longtemps que ceux qui répétaient un mot neutre. Des résultats qui confirment de premières expériences –sur la force de frappe au tennis ou la résistance dans l'eau glacée notamment. Oui, jurer pousse plus loin nos performances physiques. Et cette étude permet enfin de comprendre pourquoi. Jurer fait sauter nos inhibitions, ce qui renforce la confiance en soi, chasse les distractions et libère la force intérieure.



Les articles auxquels vous avez échappé

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

Partira? Partira pas? Le mois a été tendu à surveiller les préparatifs du lancement d'Artemis II, tout en travaillant le dossier spécial... À suivre aussi le conflit au Moyen-Orient. L'Agence internationale de l'énergie prévient que le monde pourrait connaître **la plus grave crise énergétique des dernières décennies**. Nous nous sommes plusieurs fois posé la question: faut-il vous proposer une analyse sur les conséquences énergétiques de cette guerre? Le sujet est déjà traité en profondeur par la presse quotidienne. Nous préférons interroger les experts sur le rôle de l'IA dans les conflits récents et à venir (p. 20). Allez, on se replonge dans les publications scientifiques. Oh! **L'ornithorynque ajoute une bizarrerie à sa liste**: sa fourrure a des structures pigmentaires uniques, similaires à celles des plumes d'oiseaux. Amusant... mais anecdotique. Ouah! **Une bactérie morte ressuscitée avec un autre génome**. Les chercheurs — dont le célèbre Craig Venter — ont introduit des génomes

synthétiques pour les réactiver: *« Nos travaux présentent une méthode générale pour inactiver complètement le génome de la cellule réceptrice et décrivent la première cellule bactérienne synthétique vivante construite à partir de composants non vivants. »* Bon, pas sûr que ça débouche sur une révolution. Et puis c'est un peu le cirque de la génétique. Plus sérieux, trop sérieux? Une équipe de l'université de Stockholm a mis en évidence

un point critique dans l'eau surfondue autour de -63°C et 1000 atmosphères.

Gros sujet en physique. Et gros mystère. Dans notre hors-série #13 sur l'eau, p. 20, on vous parlait de la difficulté des chercheurs à comprendre ses métamorphoses... C'est qu'elle posséderait deux formes liquides (avec des densités différentes) suspectent des chercheurs. Ce point critique en apporterait la preuve. Et expliquerait toutes ses étrangetés...

« On peut encore avoir des doutes sur le fait qu'ils observent réellement l'eau à l'état liquide dans ces conditions extrêmes, réagit le spécialiste Frédéric Caupin, à l'université de Lyon. Il se pourrait qu'elle reste sous la forme d'une glace amorphe qui transitionne vers un autre type de glace. L'analyse aux rayons X ne permet pas de faire la différence. » Ce n'est pas encore le fin mot de l'histoire. Allez, on attend pour vous replonger dans cette quête.

Et on se penche sur cette annonce d'**une avancée majeure pour soigner la calvitie**: des chercheurs ont réussi à cultiver in vitro des follicules pileux à partir de cellules souches, qu'ils ont

transplantés sur des souris. Et ça marche: les cheveux — enfin les poils — repoussent! Ils suivent un cycle naturel, tombant et repoussant tous les 58 jours — comme chez n'importe quelle souris... Oui, sauf qu'il reste à passer aux essais chez l'humain. Le sujet est concernant — une pensée pour toutes ces publicités de magazines promettant un « après » chevelu — mais pas assez important pour qu'on vous raconte des essais aussi préliminaires.

Alors **des bébés planètes en train de naître**? C'est émouvant. L'image ressemble à une échographie. Les deux planètes sont déjà beaucoup plus grosses que notre Jupiter. Elles sont encore nichées dans le disque de poussières et de gaz dans lequel est née leur étoile. Mais c'est loin d'être une première. Des dizaines de ces embryons planétaires ont déjà été découverts.

Ou cet exploit en tech? La création par IBM d'**une nouvelle molécule en forme de demi-ruban de Möbius**. On est tentés, on l'aime bien ce ruban évidemment, il a inspiré notre logo... Un En Images? Pas assez spectaculaire. Un fil d'actus? Ce n'est pas un jalon. Un Instant Geek? Les

ET SI LES BÉBÉS SAVAIENT MENTIR ?

Avant un an? Avant la parole? Les bébés seraient capables de tromper sciemment leur monde. « Petits menteurs! », le communiqué qui accompagne l'étude britannique est tentant. Ce serait une petite révolution. 40 ans de tests en psychologie du développement l'ont montré, la capacité à comprendre qu'un autre peut penser quelque chose de faux se construit entre 4 et 6 ans: le préalable pour fabriquer un mensonge. Sauf qu'à la lecture, l'étude ne remet pas en question cela. Sa première signataire, Elena Hoicka, précise: *« Dès 10 mois, mais le plus souvent vers 17 mois, nous observons les premières bases de la tromperie: faire des choses interdites en cachette, faire mine de ne pas entendre. »* Il ne s'agit pas de mensonge mais de cachotteries. Piquant, mais pas révolutionnaire. La chercheuse confirme: ce n'est que vers 3 ans qu'inventer une explication, minimiser, nier posent les bases pour fabriquer un mensonge de toutes pièces... un peu plus tard.

LA QUANTIQUE SANS COMPLEXES

Peut-on réécrire les équations de la mécanique quantique sans nombres complexes? « Certes, on peut écrire un nombre complexe comme un vecteur composé de deux nombres réels. Mais si l'on se contente de faire naïvement cette substitution dans les équations de la mécanique quantique, on échoue à décrire certains phénomènes comme la non-localité », explique Mischa Woods, de l'ENS de Lyon. Le monde serait-il donc complexe par essence? Serait-ce là, la piste pour progresser enfin dans la compréhension de la quantique? Beau sujet... En 2021, un article avait fait grand bruit: le physicien Miguel Navascués proposait « une falsification théorique et expérimentale, dans les situations où l'on a des sources indépendantes, de la reformulation la plus naturelle de la mécanique quantique sans nombres complexes », résume Nicolas Gisin, qui a participé aux travaux. À l'époque, nous avons hésité. Et voilà que le sujet ressurgit avec deux nouveaux articles. Sauf qu'ils démontrent au contraire une équivalence formelle entre les équations de la mécanique quantique et une théorie à base exclusivement de nombres réels. À bien y regarder, tous ces travaux semblent davantage affronter des défis techniques, calculatoires, que dresser des constats naturalistes. Mischa Woods le reconnaît: « Je pense que les questions de nombres complexes versus réels ne sont pas si intéressantes. » Dommage, c'était amusant.



« Je pense que les questions de nombres complexes versus réels ne sont pas si intéressantes »

promesses sont vagues, lointaines. Tant pis pour le ruban. Et voilà le neurone du mois: cette fois, ce sont **les neurones de la soif** qui ont été identifiés par des chercheurs japonais: « Une population neuronale qui code l'information sensorielle nécessaire à la perception et à la consommation de l'eau. » Notre collection s'agrandit; on les met de côté. Comme cette observation **des tourbillons noirs dans les ondes de lumière**. Des physiciens israéliens confirment une prédiction théorique des années 1970, selon laquelle ces vortex se déplacent plus vite que les ondes dans lesquels ils se forment: oui, ils vont plus vite que la lumière! Mais non, ils ne fracassent pas le principe d'Einstein. C'est marrant, mais quand même un peu technique... Un peu moins marrant, on s'attarde sur **la composition du Conseil scientifique de Donald Trump**, annoncée le 25 mars: Sergey Brin, Mark Zuckerberg, Michael Dell, Jensen Huang, Lisa Su... Euh, c'est plutôt le « Grand Conseil des entrepreneurs de la Big Tech » — on vous avait décrit en novembre 2024 le pouvoir et les obsessions de cette « science des milliardaires » en pleine expansion. Ah! Une exception quand même: John Martinis, prix Nobel de physique 2025 pour la découverte de l'effet tunnel quantique. Voilà voilà. 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 babouins font des crises de jalousie**, ni que **l'urine des cerfs en rut est fluorescente**, ni que **les reines de bourdons survivent une semaine sous l'eau**. Si vous voulez en savoir plus sur tous ces non-articles, nous avons mis les sources en ligne.

« Tous les antiprotons ont survécu »

Jeffrey Hangst,
à propos d'un voyage
d'antimatière en camion
p. 29

« L'utilisation de l'IA produit plus de cibles, plus de destruction, plus de morts »

Marijn Hoijtink,
à propos de l'IA et la guerre
p. 21

« Si le moindre domino tombe à partir de maintenant, cela va rendre les choses compliquées »

Bernard Foing,
à propos du retour sur la Lune
p. 44

« Même une recette de cuisine c'est exactement ça ! »

Bob Coecke,
à propos de la théorie
des catégories
p. 77

« Je pense que les questions de nombres complexes versus réels ne sont pas si intéressantes »

Mischa Woods,
à propos de la quantique
sans complexes
p. 97

« Rien ne prépare à la beauté époustouflante de notre planète illuminée comme en plein jour »

Christina Koch,
à propos de la mission
Artemis II
p. 36

« Il faut cultiver l'espoir avec une certaine souplesse d'esprit »

Francesco Pagnini,
à propos de la méthode Coué
p. 69

« Ils peuvent se contenter de très peu d'espace et se reposer dans la végétation au milieu d'un rond-point »

Raphaël Mathevet,
à propos des sangliers
p. 62

« J'ai fouillé du néolithique toute ma vie... Et Göbekli Tepe ne correspond à rien de ce que l'on savait sur cette période »

Jean-Paul Demoule,
à propos du temple de l'apocalypse
p. 72

« Les particules ont le syndrome de l'imposteur, un peu comme moi »

Célia Pelluet,
à propos de son stand-up
scientifique
p. 88

« Après 4 ans de travail, nous sommes arrivés à cette cellule de 16 mm² qui produit 2,5 nanowatts »

Manoël Jacquemin,
à propos de la mini-batterie
nucléaire
p. 82

« Cette image est un avertissement pour l'astronomie future »

Alejandro Borlaff,
à propos de la pollution
lumineuse
p. 19

« C'est l'afflux de consommatrices enceintes dans nos services qui a lancé nos travaux »

Frederico Garcia,
à propos du vaccin
anticovidale
p. 84

• Les 99 scientifiques interrogés par la rédaction pour ce numéro

Collin Ahrens
Biologiste de l'évolution, Australie
John Baez
Mathématicien, Royaume-Uni
Eric Baubet
Spécialiste des ongles sauvages,
Paris
Jordan Bimm
Historien de l'exploration spatiale
américaine, États-Unis
Christophe Bonnal
Ingénieur en techniques
spatiales, Paris
Alejandro Borlaff
Astronavigateur, États-Unis
Freddy Bouchet
Climatologue, Paris
Vincent Boulanin
Spécialiste en sécurité
internationale, Suède
Peiyu Cao
Spécialiste des systèmes
agricoles, États-Unis
Clotilde Champeyrac
Criminologue, Paris
Guillaume Charvat
Ingénieur en électronique, Grenoble
Gilles Cheylan
Neurologue, Marseille

Bob Coecke
Physicien théoricien, Royaume-Uni
Pénélope Coupal
Biologiste, Canada
Duncan Crombie
Biologiste, Australie
Ronald Crystal
Médecin généraliste, États-Unis
Blaine Curcio
Spécialiste du programme spatial
chinois, Hongkong
Achiad Davidson
Écologue, Israël
Valeria de Paiva
Mathématicienne, États-Unis
Jean-Paul Demoule
Archéologue préhistorien, Paris
Oliver Dietrich
Archéologue préhistorien, Allemagne
Hélène Donnadiou-Rigole
Alchimiste, Montpellier
Ludovic Duvet
Ingénieur spatial, Royaume-Uni
John Eke
Ingénieur chimiste, Australie
David Elbaz
Astronavigateur, Suède

Kun Ferenc
Physicien, Hongrie
Marco Fernandez-Tous
Physicien, États-Unis
Anna Ferratoli
Biologiste, Norvège
Stefano Focardi
Écologue, Italie
Bernard Foing
Astronavigateur et ingénieur
spatial, Pays-Bas
Javier G. Fernández
Chercheur en biomatériaux,
Espagne
Marlène Camelon
Biologiste des populations,
Villorbanne
Giuseppe Gangarossa
Neuroscientifique, Paris
Frederico Garcia
Physicien addictologue, Brésil
Joshua Gendron
Biologiste, États-Unis
Nicolas Gisin
Physicien, Suisse
Mathieu Grilou
Expert du CNS, Chine
Alban Guyomarc'h
Chercheur en droit spatial, Paris

Rémi Hadad
Anthropologue et archéologue
préhistorien, Paris
Colin Haile
Psychologue, États-Unis
Jeffrey Hangst
Physicien des particules, Danemark
Timothée Heffreumon
Physicien, Belgique
Elena Hoicka
Chercheuse en sciences de
l'éducation, Royaume-Uni
Marijn Hoijtink
Chercheur en sécurité
internationale, Belgique
Jun Huang
Géologue planétaire, Chine
Manoël Jacquemin
Chercheur en matériaux, Grenoble
Michael Klare
Chercheur en relations
internationales, États-Unis
Toshiki Koga
Biogéochimiste, Japon
Thomas Kesten
Psychiatre addictologue, États-Unis
Anselm Küsters
Chercheur en digitalisation, Allemagne

Éric Lagarde
Astronavigateur, Nice
Brett Lewis
Biologiste, Australie
Jorge Ramón López Olvera
Vétérinaire, Espagne
Nitzan Lubianiker
Neurobiologiste, Israël
Carole Marin
Géographe, Bordeaux
Giovanna Massei
Spécialiste de la fertilité animale,
Royaume-Uni
Jade Master
Informaticienne, Royaume-Uni
Raphaël Mathevet
Écologue et géographe, Montpellier
Stéphane Mazouffre
Physicien en propulsion spatiale,
Sury-11-Yves
Philip Metzger
Planétologue, États-Unis
Masaaki Miki
Physicien, Japon
Sylvia Mishra
Spécialiste de médecine, États-Unis
Teasel Muir-Harmony
Historienne des sciences
et des technologies, États-Unis

Miguel Navascués
Physicien, Autriche
Nathaniel Osgood
Épidémiologiste, Canada
Scott Pace
Expert en sciences politiques,
États-Unis
Francesco Pagnini
Chercheur en psychologie, Italie
Jules Palayer
Spécialiste des technologies
émergentes, Suède
Stefano Palminteri
Neurocognitionniste, Paris
Xavier Pasco
Expert en sciences politiques, Paris
Roberto Pascual Rico
Chercheur en biologie appliquée,
Espagne
Célia Pelluet
Ingénieure en capteurs
quantiques, Toulouse
Tomasz Podgorski
Écologue, Pologne
Derek Risch
Spécialiste en écologie spatiale,
États-Unis

Francis Rocard
Astronavigateur, Paris
Asya Rolls
Neurobiologiste, Israël
Clarissa Rosa
Écologue, Brésil
Fatma Sahin
Archéologue, Turquie
Dario Saia
Ingénieur spatial, Italie
Yasemin Salgirdi
Spécialiste en psychologie
animale, Canada
Marie-Hélène Schum
Physicienne des particules, Paris
Joshua Schwartz
Chercheur en stratégie, États-Unis
Maria Lily Shaw
Économiste, Canada
Oscar Skewes
Écologue, Chili
David Spivak
Mathématicien, États-Unis
Oliver Tschauner
Chercheur en génétique, États-Unis
Stefano Ulmer
Physicien des particules, Allemagne

Lene Vase
Chercheuse en psychologie,
Danemark
Erica von Essen
Sociologue, Norvège
Tor Wager
Neuroscientifique, États-Unis
Pierick Wainschein
Généticien, Australie
Fang Wang
Dermatologue, Chine
Ryan Nicole Walkins
Planétologue géologue, États-Unis
Paul Whorer
Chercheur en géopolitique
spatiale, Paris
Samantha Wisely
Biologiste, États-Unis
Mischa Woods
Physicien, Lyon
Maximiana Yun
Experte en biologie régénérative,
Chine
Giusepe Zardini
Historien, États-Unis
Thomas Zimmermann
Préhistorien, Turquie

Il est arrivé ! *Le nouveau mook d'Epsilon*



148 PAGES - 14,90 €

Chez les marchands de journaux ou sur **EPSILOON.COM**



SPEEDMASTER MOONWATCH PROFESSIONAL

En contraste avec son design classique, la Speedmaster Moonwatch se présente désormais sous un angle inédit. Alors que son cadran à degrés est laqué noir, ses trois compteurs brillent d'un blanc éclatant, créant un style distinctif au poignet. Découvrez ce modèle Co-Axial Master Chronometer et redécouvrez une icône OMEGA sous un nouveau jour.


OMEGA