

SEP M  
TOP  
ventes

# SCIENCE & VIE

Depuis 1913

N° 1266 MARS 2023

**MÉDECINES DOUCES**  
L'EXPLOSION DES  
DÉRIVES SECTAIRES

**CRYPTOGRAPHIE**  
PEUT-ELLE RÉSISTER À  
L'ORDINATEUR QUANTIQUE ?

# VIRUS

## MODIFIÉS EN LABO

### VA-T-ON TROP LOIN ?



NOTRE SÉRIE

**MISSION 14 :**  
SAUVER  
LA FORÊT  
AMAZONIENNE

**ASTRONOMIE**  
LE PREMIER BULLETIN  
MÉTÉO DE JUPITER!

**ÉVOLUTION**  
LA FABULEUSE  
HISTOIRE  
DU CLITORIS

L 19055 - 1266 - F. 4,90 € - RD



D: 7,50 € - BEL: 5,20 € - ESP: 5,30 € - GR: 5,30 € - DOM S: 5,30 € - DOM A: 7,50 € - ITA: 5,30 € - LUX: 5,20 €  
PORT CONT: 5,30 € - CAN: 7,50 \$CAN - MAR: 55 DH - TOM S: 800 CFP - TOM A: 1450 CFP - CH: 8,80 FS - TUN: 10,5 DTU

Big bang

Mots-croisés

Technofolies

Intelligence artificielle

Futur

Exoplanète

Glaciers

Robots

Vents solaires

N° 1266 - Mars 2023

SCIENCE & VIE



# PEUGEOT

## NOUVELLE 408 HYBRIDE RECHARGEABLE



Design inattendu  
PEUGEOT i-Cockpit® 3D\*\*  
Jusqu'à 70 km d'autonomie électrique\*

PEUGEOT RECOMMANDE **TotalEnergies** Consommation mixte WLTP(1)  
(l/100km) : 1,1 à 1,2.

(1) Ces valeurs peuvent varier en fonction des conditions réelles d'utilisation et de différents facteurs. Plus d'informations auprès de votre point de vente ou sur <https://www.peugeot.fr/marque/politique-environnementale/wltp.html>. \*L'autonomie de la batterie peut varier en fonction des conditions réelles d'utilisation. \*\*De série ou indisponible selon les versions. OPEn – Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Versailles.

**A** 26g CO<sub>2</sub>/km

B

C

D

E

F

G

Au quotidien, prenez les transports en commun. #SeDéplacerMoinsPolluer



NOUVELLE 408

408





# Découvrez l'ID.4

## Le SUV 100 % électrique.

Autonomie jusqu'à 526 km\*



\* Autonomie maximale WLTP de l'ID.4 avec une batterie de 77 kWh.

Cycles mixtes gamme ID.4 (kWh/100 km) WLTP : 16,3-18,9. Rejets de CO<sub>2</sub> (g/km) WLTP : 0 (en phase de roulage). Valeurs au 01/12/2021, susceptibles d'évolution. Plus d'informations auprès de votre Partenaire.

Volkswagen Group France – SAS au capital de 198 502 510 € – 11, av. de Boursonne, Villers-Cotterêts – RCS Soissons 832 277 370.



Pensez à covoiturer #SeDéplacerMoinsPolluer



Coralie Hancock  
chankok@reworldmedia.com

## La fabrique des monstres

Sans verser dans les théories conspirationnistes, la question peut effleurer l'esprit : et si le SARS-CoV-2 avait été fabriqué en laboratoire ? En tentant d'y répondre lors de mon enquête, j'ai découvert des virus potentiellement bien plus mortels, créés ou recréés grâce à quelques manipulations. Certes, ces expériences sont conduites dans des lieux ultra-sécurisés afin, dit-on, de mieux nous préparer aux pandémies. Mais ne risquent-elles pas de créer un jour les monstres contre lesquels elles tentent de nous prémunir ?



Kheira Bettayeb  
kbettayeb@reworldmedia.com

## Gourou-thérapie

Naturopathie, ostéopathie, sophrologie... Les médecines douces, prisées par de nombreux Français, sont de plus en plus polluées par de pseudo-thérapeutes, qui tentent d'exercer une emprise psychologique sur des patients désarmés et de leur proposer des remèdes miracles très lucratifs... Le phénomène inquiète la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires, qui appelle à la plus grande prudence. Cela suffira-t-il ? Ne vaut-il pas mieux réglementer les médecines douces ?



Thomas Delozier  
tdelozier@  
reworldmedia.com

notre réd' chef adjoint

## L'ÉDITO

Pas trop anxiogène, la couverture de ce numéro ? À la rédaction, nous nous sommes posé la question. L'heure est, paraît-il, au journalisme de solutions, à l'optimisme : il ne faut surtout pas "faire peur". Pourtant, notre objectif n'est pas de vous faire vaciller : comme le rappelle le général Cypher Raige, incarné par Will Smith dans une émouvante scène du film *After Earth*, "le danger est bien réel, mais la peur est un choix". Et cela est vrai : le danger est réel, il est écologique, il est viral, il est humain. La seule solution consiste justement à le regarder droit dans les yeux. Heureusement, à travers la planète, des milliers de chercheurs explorent déjà ces terres hostiles, tutoient l'inconcevable, questionnent l'éthique. Ils nous préparent à affronter des problèmes qui n'existent pas encore. C'est une évidence : la place de *Science & Vie* est à leur côté. Alors, attachez vos ceintures et rappelez-vous des mots de Will Smith : la peur est un choix, et elle découle souvent du manque de connaissance. Pour la vaincre, commençons par prendre la mesure du danger.

T. Delozier

# Sommaire

Mars 2023 n°1266

08 **Forum**

## L'actu des sciences

- 16 **En image**  
Des grenouilles cachent leur sang dans leur foie...
- 20 **Grand angle**  
Les algues brunes décarbonent l'atmosphère; voici venir les robots sculpteurs; 2 glaciers sur 3 pourraient disparaître d'ici à 2100...
- 23 **3 découvertes sur...**  
les habits des premiers humains
- 28 **Data**  
Le JWST a mis au jour sa première exoplanète
- 30 **Focus**  
De l'ADN dévoile le Groenland d'il y a 2 millions d'années
- 32 **Et ça nous fait du bien!**  
Notre sélection d'actus qui font sourire



19  
Grenouilles  
translucides

## Science & société

- 34 **ENQUÊTE**  
**L'inquiétante explosion des dérives sectaires en santé**
- 42 **Data**  
Les lacs s'étendent partout dans le monde
- 44 **L'étrange affaire...**  
des baleines qui chantent de plus en plus grave
- 46 **Retour sur image**  
Le jour où la comète ZTF a fait son dernier passage
- 48 **Entretien croisé**  
Les sports d'hiver sont-ils voués à disparaître?
- 50 **Les clés pour comprendre**  
les pénuries de médicaments
- 52 **En débat**  
Automatisation et emploi: faut-il taxer les robots?
- 54 **Carte blanche**  
L'astrophysicien Éric Lagadec
- 56 **Futur**  
L'agrotourisme se pratiquera sous des serres géantes; un bateau propulsé par une nageoire...
- 62 **Il y a pile...**  
100 ans, 50 ans, 25 ans dans *Science & Vie*



56  
Serres  
géantes

SHUTTERSTOCK - THE IMAGES & PROJECT TO URB - SHUTTERSTOCK - GEMINI OBSERVATORY/AURA/NSF/NASA/JPL-CALTECH - LIMOR SIDI/ALAMY/HÉMIS.  
COUVERTURE: SHUTTERSTOCK

SCIENCE&VIE

**OFFRE SPÉCIALE ÉTUDIANTS ET ENSEIGNANTS**  
**ABONNEZ-VOUS DÈS MAINTENANT**  
En quelques clics, profitez sans tarder de votre version numérique en scannant le QR Code!



## À la une

64

**Virus  
modifiés en  
labo : va-t-on  
trop loin ?**

Les manipulations de virus ont en principe un but thérapeutique. Certaines ont cependant de quoi inquiéter.

## Les dossiers

- 84 **Cryptographie**  
La course à la cryptographie post-quantique
- 88 **Planétologie**  
Au fil des saisons de Jupiter
- 96 **ÉCOLOGIE**  
**Mission: sauver l'Amazonie**
- 104 **Algorithmes**  
L'IA apprend mieux en dormant
- 108 **Anatomie**  
Aux origines du clitoris

## C'est dans nos vies

- 113 **En pratique**
- 116 **Technofolies**
- 120 **À voir/à lire**
- 122 **Questions/Réponses**
- 128 **Mots-croisés**
- 130 **Bulle de science**

SCIENCE&VIE 40 avenue Aristide Briand, CS 10024, 92227 Bagneux Cedex. Tél.: 01 46 48 48 48 - Fax: 01 46 48 48 67. E-mail: svmens@reworldmedia.com. Recevez *Science & Vie* chez vous. Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp.33 et 127. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par internet sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).

Ce numéro comporte, sur tout ou partie de sa diffusion, un encart Reworld Media Mékong 2023, posé sur la 4<sup>e</sup> de couverture.



88  
Saisons  
sur Jupiter



126  
Grêle  
en été

## TOUT CE QU'IL RESTE À DÉCOUVRIR...

Merci pour votre dossier passionnant sur la matière. Vous citez –extrêmement brièvement– l'énergie sombre, qui tiendrait pour 68 % de la composition de l'Univers (S&V n°1265, p. 71). À quoi sert-elle ? N'est-elle aussi qu'hypothétique ? Donc, en fait, nous ne savons pas de quoi est composé 95 % de l'Univers ?

*Pénélope Gleyze, Paris (75)*

**S&V** Tout juste ! L'énergie sombre est associée à l'expansion de l'Univers –le fait que l'espace entre deux galaxies s'accroît au cours du temps. Depuis l'élaboration du modèle du big bang, il était admis que cette expansion ralentissait du fait de la force d'attraction qu'exercent entre eux les corps célestes. Sauf qu'en 1998, une découverte a tout changé : la lumière reçue sur Terre par

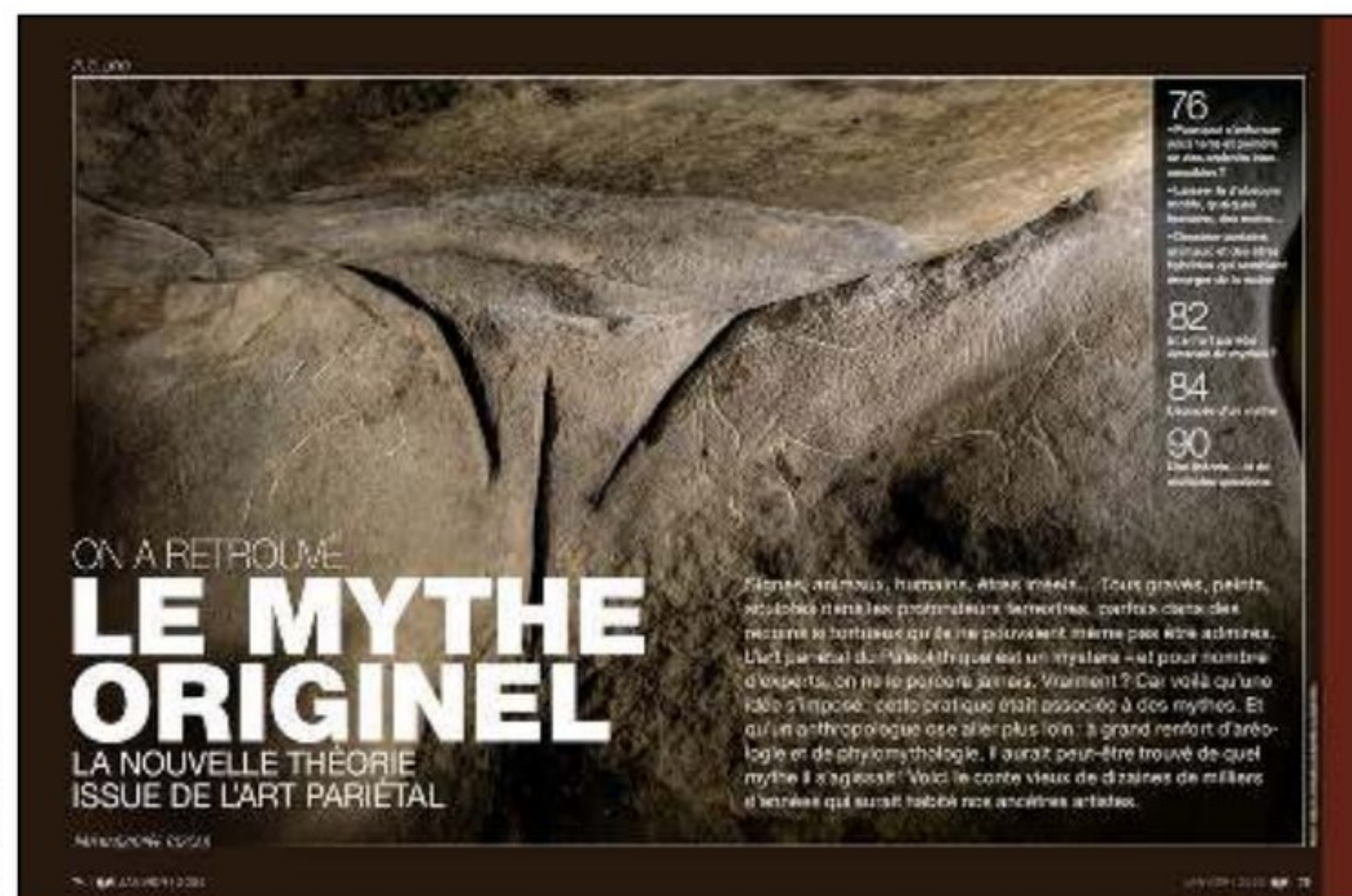
des supernovae est plus faible qu'attendue –elles étaient plus éloignées que prévu ! Les experts ont donc théorisé l'existence d'une énergie qui agirait comme une force répulsive, à l'inverse de la gravitation, accélérant l'expansion de l'Univers : l'énergie sombre. Celle-ci n'a jamais été mise en évidence, sa nature et son origine nous restent inconnues. Elle constituerait environ 68 % du contenu



énergétique de l'Univers, et puisque la matière noire en constituerait 27 %, nous pouvons effectivement dire que nous ne savons pas de quoi est composé 95 % de l'Univers. Vertigineux, non ?

On ne le voit pas d'emblée, mais après lecture du dossier, on peut dire que votre couverture à la Courbet ne manque pas d'audace !

*Nicolas Husser, à propos de la couverture de Science & Vie n°1264*



## CONTE DE NEANDERTAL

Quid de la grotte de Bruniquel, œuvre non pas de *Sapiens* mais de Neandertal ? Nos cousins étaient-ils déjà chthoniens ?

*Élie Garbarz, internet*

**S&V** Très bonne question ! Neandertal s'est en effet lui aussi exprimé dans les grottes –à Bruniquel, comme vous

l'évoquez, mais aussi à Gibraltar, qui renferme une fameuse gravure en forme de dièse. Reste que Jean-Loïc Le Quellec est clair : *“Le fait de marquer un lieu, graphiquement ou par d'autres moyens, n'implique pas que ce dernier aurait eu une fonction ou une importance symboliques.”* L'art des



# Boîte de sardines à la mer d'étoiles

Votre article sur l'espace-poubelle ne m'a pas surpris. L'homme a pollué les continents, les océans, l'atmosphère... Pourquoi s'étonner qu'il pollue l'espace? Dans quelques millénaires, le Système solaire débordera d'immondes, puis ce sera le tour de la Voie lactée. Heureusement pour les autres galaxies, notre Soleil aura sans doute explosé et incinéré nos sacs-poubelles avant qu'ils ne les rattrapent. Mais si un jour une de nos boîtes de sardines vides atteignait Andromède et était recueillie par quelque astrospaciocosmonaute du coin... Les Andromédiens sauraient qu'ils ne sont pas seuls dans l'Univers – un message plus compréhensible que les signaux mathématiques qu'on leur adresse!

André Legrand, Biévène (Belgique)

grottes n'est donc pas forcément le signe d'un contexte mythologique chtonien (voir *S&V* n°1264, p.74): ce sont les études phylométriques et archéologiques qui permettent, en remontant le temps mythologique, de proposer cette lecture de l'art des grottes et dire que "nos ancêtres Sapiens devaient certainement se raconter le mythe de l'émer-

gence primordiale". En tout cas, l'exceptionnelle structure lithique édiflée à Bruniquel par Neandertal suggère que les différences cognitives entre ce dernier et *Sapiens* n'étaient pas aussi importantes qu'on le pensait. Peut-être Neandertal possédait-il lui aussi ses propres mythes de l'émergence... Las, nous ne le saurons jamais.



## ENTRE 13 ET 27% DE VERTEBRES EN MOINS D'ICI À 2100

En décembre 2022 (*S&V* n°1263, p. 84), nous alertions sur la réduction voire la disparition de nombreuses espèces vivant sur la planète. Tout indique en effet que nous sommes au début d'une extinction massive, à une échelle et une vitesse que la Terre n'a jamais connues. Mais comment l'évaluer précisément? Giovanni Strona, de l'université d'Helsinki (Finlande), et Corey Bradshaw, de l'université Flinders (Australie), ont développé un nouveau modèle. Celui-ci prend non seulement en compte la disparition d'espèces du fait de conditions environnementales défavorables (destruction des habitats, pollution, sécheresses, températures excessives, acidité du milieu...), mais, surtout, il permet pour la première fois de prédire les avalanches d'extinctions, c'est-à-dire l'effondrement d'une population à cause de la disparition d'une autre dont elle est dépendante – pour se nourrir, se protéger... Leurs résultats confirment les craintes des théoriciens: les co-extinctions sont au moins 2 à 3 fois plus destructrices que les extinctions directes. Cette nouvelle modélisation prévoit ainsi une réduction de 6 à 10% de la diversité des vertébrés à l'échelle mondiale d'ici à 2050, et de 13 à 27% d'ici à 2100, selon le scénario. Le plus gros de l'extinction se produirait avant 2050, dans les régions accueillant une riche biodiversité.

Anne Debroise



## UN "SPACE BUSINESS MODEL"?

Surprenant d'envoyer un engin de 400 kg pour désorbiter un débris de plus de 100 kg, le tout pour une somme modique de 100 millions d'euros, autofinancée à 80% par l'Europe donc par ses citoyens (S&V n°1264, p. 38). C'est un magnifique exercice de style, certes, mais en ces temps climato-inflationnistes, n'est-il pas un peu vain et illégitime? Et que va devenir ce satellite ClearSpace à terme, un nouveau rebut?

Olivier Bédus, internet

d'autres satellites en activité. Et que si rien n'est fait, le "syndrome de Kessler", que nous évoquons dans l'article, mènera inévitablement à rendre inutilisables des strates entières de l'orbite terrestre.

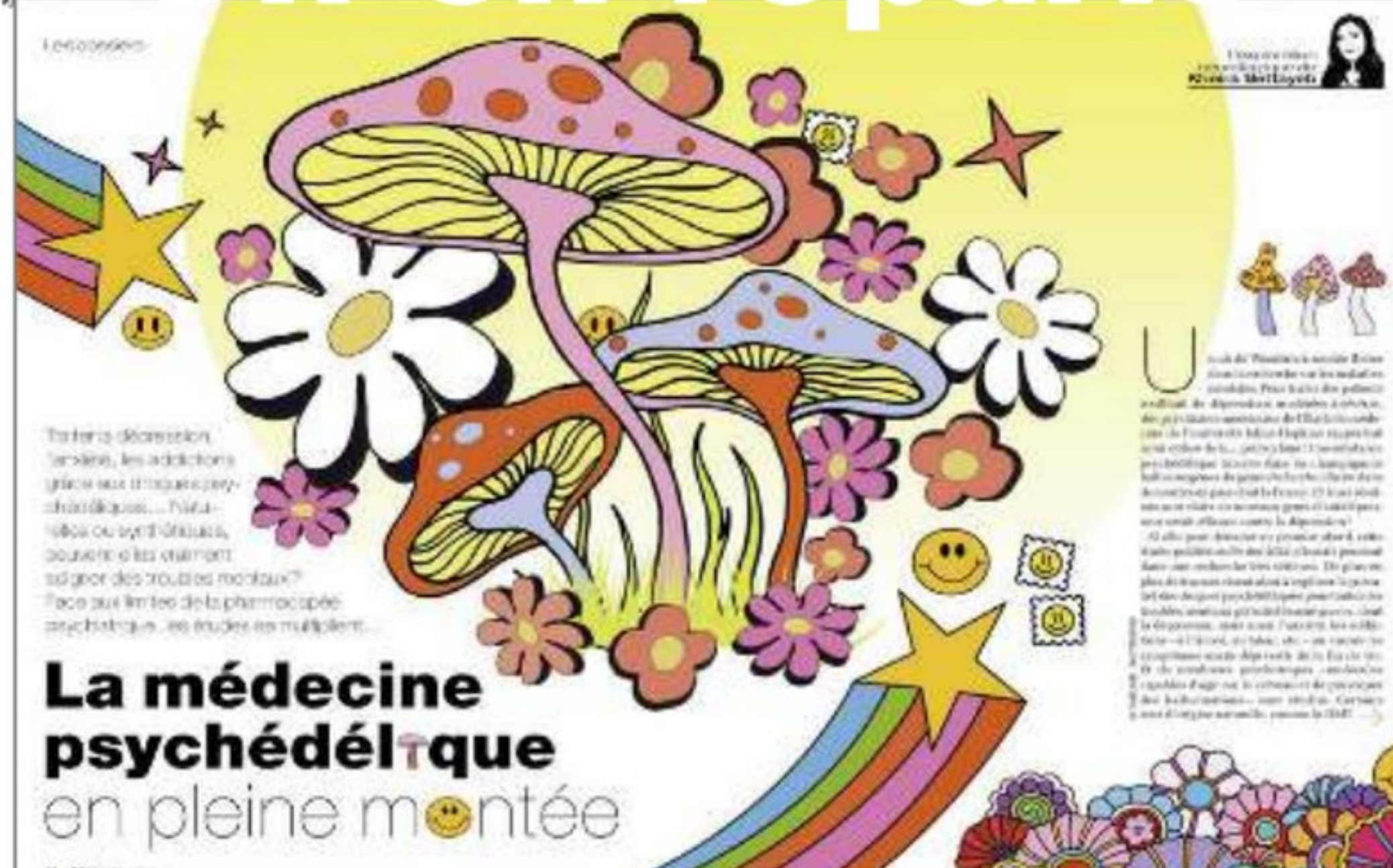
Cela dit, vous avez parfaitement raison: dans un contexte économique de plus en plus rude, le nettoyage de l'espace ne sera sans doute pas considéré comme une priorité, et les institutions publiques rechigneront sans doute à dépenser autant de millions pour désorbiter un par un les débris à la dérive.

Voilà pourquoi beaucoup d'efforts sont consacrés à la recherche d'un *business model* qui rendrait le nettoyage de l'espace économiquement viable, en inventant notamment des satellites capables de désorbiter plusieurs débris en une seule mission. Pour le moment, ClearSpace1 est une mission de démonstration technologique, elle n'a pas d'autre ambition...

**S&V** Un nouveau rebut, assurément pas, puisque ClearSpace1 sera désorbité et dissout dans l'atmosphère en même temps que le débris! Concernant le coût de l'opération, il ne faut pas perdre de vue que les débris spatiaux représentent potentiellement des pertes financières considérables en cas de collision avec

## Erratum

Raghavendra Srinivas, de l'université d'Oxford, nous signale que le laser utilisé pour intriquer deux horloges atomiques (S&V n°1264, p. 106) possédait une longueur d'onde de 422 nm (nanomètres). Ce n'est donc pas un faisceau micro-ondes (de 30 cm à 3 mm), comme indiqué dans notre article, mais de lumière visible. Toutes nos excuses pour cette boulette puissance 10000! Le coupable a été condamné à ne porter que des vêtements couleur 422 nm durant un mois: un joker à S&V City!



# LA MÉDECINE PSYCHÉDELIQUE MONTE ENCORE D'UN CRAN!

C'est une première: en janvier, un État américain, l'Oregon, a annoncé l'ouverture de centres dédiés à la consommation encadrée de psilocybine, substance hallucinogène illicite en France. Cette évolution confirme l'intérêt croissant pour le potentiel thérapeutique des psychédéliques, que nous décrivions en mai 2022 (S&V n°1256, p. 84). De plus en plus d'études indiquent en effet que ces substances pourraient soulager divers troubles mentaux: dépression, anxiété, addictions, etc. C'est dans ce contexte que l'Oregon a autorisé les *trips* psychédéliques supervisés par des "facilitateurs". L'Autorité de santé de l'État s'est même dotée d'un "Service de psilocybine de l'Oregon". "Ce virage spectaculaire montre que la politique de répression des 'drogues' psychédéliques, dont la dangerosité a été exagérée et le potentiel thérapeutique méprisé, a fait son temps", se réjouit Vincent Verroust, historien des sciences à l'université de Picardie Jules-Verne. En France, "avant que ces thérapies n'émergent éventuellement, il faudra attendre de nombreuses années", prédit Zoë Dubus, historienne de la médecine à l'université Aix-Marseille. Au préalable, il faudra arriver à "obtenir un consensus médical, former des thérapeutes, organiser leur remboursement... et déconstruire certaines idées reçues"! **Kheira Bettayeb**

M. TUMELAIRE



Pour votre santé, pratiquez une activité physique régulière. [www.mangerbouger.fr](http://www.mangerbouger.fr)



## “TERRA SCIENTIFICA”, LE SALON DES SCIENCES PARTICIPATIVES ET DU VOYAGE SCIENTIFIQUE

Il est de retour! Les 24, 25 et 26 mars 2023, au cœur de la Cité des sciences, l'équipe du magazine *Science & Vie* et l'ONG Objectif sciences international organisent leur salon dédié aux acteurs de la science, aux sciences participatives et aux voyages pédagogiques.

Le temps d'un week-end, venez découvrir ou approfondir votre passion scientifique, et comprendre les environnements et écosystèmes qui nous entourent. Ce salon s'adresse à tous les publics, les familles, les passionnés, les écoles et les professionnels, avec des ateliers préparés spécialement pour les jeunes et les grands enfants, des conférences, des tables rondes... Pour cela, une soixantaine d'organismes différents animeront l'événement.

Au programme: des animations pour les tout-petits et les plus

grands – observer les taches solaires en direct, manipuler des fossiles de dinosaures, découvrir les oiseaux du monde entier et les plantes malignes. Découvrez notre sélection de films dédiés aux plus belles expéditions – chasseurs d'iceberg, conquête de l'espace... Venez assister à de multiples conférences – voyages sur les volcans en activité, suivi de la panthère des neiges... Participez aux nombreuses tables rondes consacrées à de multiples sujets – volcans, exoplanètes, grands primates, accès aux pôles... Cédric Sueur, primatologue au CNRS, nous fera l'honneur de nous parler de ses récentes expéditions au Japon, sur les traces des macaques, avec d'incroyables photos. Et venez découvrir des voyages qui

ont du sens: seuls ou en groupe, en famille ou entre adultes... Vous pourrez même trouver la colonie de vacances idéale pour vos enfants ou petits-enfants, loin des écrans et connectés à la nature!

Enfin, venez participer à nos hackathons dans lesquels il faudra imaginer un voyage scientifique. Autour d'un lieu, d'un thème scientifique ou d'un enjeu à résoudre, tentez de gagner la réalisation de votre voyage avec les partenaires du salon.

*Cité des sciences et de l'industrie, Paris.*

*Entrée gratuite sur inscription (ou 2 € qui seront reversés au Programme de protection de la panthère des neiges).*

*Plus d'infos sur:*

*[www.terra-scientifica.com](http://www.terra-scientifica.com)*



**Giliane Douls**  
pour la diversification  
Science & Vie



## RETOUR VERS LE FUTUR

Les défis posés à l'agriculture sont nombreux. Ce *Hors-série de Science & Vie* décortique les solutions mises en place pour nous assurer une souveraineté alimentaire tout en préservant l'environnement. Un mix de retour au bon sens paysan –replacer le vivant au cœur de la science agronomique– et de technologies de pointe. Bienvenue à la ferme de demain!  
*S&V Hors-Série n°306, 5,95 €*



## IVRESSE DES CIMES

Fascinantes montagnes! Domaines des dieux et des monstres, elles resteront longtemps *terra incognita* avant que d'audacieux aventuriers, scientifiques et cartographes ne s'échinent à en conquérir les sommets. Pour la recherche, puis l'exploit et désormais les loisirs. Ce numéro des *Cahiers* vous invite à une aventure alpine sans crampons ni piolets.  
*Les Cahiers de S&V n°209, 6,90 €*



## LE MYTHE DES SPARTIATES

Ils se disaient invincibles sur Terre, pieux, désintéressés, et rien ne les effrayait. Et si tout cela n'était qu'une légende soigneusement bâtie par les Spartiates eux-mêmes? Tel est le sujet du dossier de *Guerres & Histoire* n°71. À ne pas manquer non plus: un extraordinaire reportage photo sur la libération de Mussolini par les parachutistes allemands.  
*Guerres & Histoire n°71, 7,50 €*



## TOUT SUR LES DRONES!

Ce mois-ci, *SVD* te dit tout sur ces drôles d'engins volants qui aident les scientifiques, partent en missions top secret, nous divertissent ou facilitent notre quotidien... Également dans ce numéro: des animaux qui s'aiment pour la vie, une plongée au cœur de l'épave du *Titanic*, une mystérieuse construction en canettes de soda... Et toujours plus de jeux et de BD!  
*S&V Découvertes n°291, 5,90 €*



## LES HABITANTS DES ARBRES

*Mon petit Science & Vie* avec Nano t'emmène dans les arbres, à la rencontre des oiseaux, insectes et mammifères qui y mangent, se cachent ou habitent. Découvre aussi ce qui se passe quand tu pètes, colore tes crêpes en rose, confectionne un cadeau pour les oiseaux... En bonus: des cartes d'invitation, une BD très drôle, des jeux futés et plein d'autocollants!  
*Mon petit S&V n°19, 5,95 €*



## LE GRAND GUIDE DE LA GALAXIE

La Voie lactée, ça vous dit quelque chose? Elle semble si lointaine et pourtant... nous vivons dedans! Le Soleil n'est en effet que l'une des milliards d'étoiles qui la composent. Les astronomes ont récemment percé plusieurs de ses secrets: sur le trou noir supermassif caché en son centre, les pouponnières d'étoiles, les supernovae... En route pour un voyage scientifique et épique!  
*S&V Junior n°402, 5,20 €*



## COMMENT EIFFEL A RÉVOLUTIONNÉ L'ARCHITECTURE

La Tour Eiffel n'est pas la seule œuvre de son créateur éponyme. Gustave Eiffel a en effet conçu et supervisé pas moins de 350 ouvrages à travers le monde. L'avènement de la métallurgie a métamorphosée les industries et les créations, défiant les lois de la gravité, toujours plus hautes, toujours plus légères. À l'aide de solutions et de techniques innovantes, Eiffel

amorce une révolution architecturale dans tous les domaines, qui a permis l'achèvement des plus beaux ouvrages du siècle. Sur Science & Vie TV, découvrez les plus incroyables créations de Gustave Eiffel.



**Gustave Eiffel, la technologie derrière le génie**  
Lundi 20 mars à 20h45

## ILS DOMPTENT L'AIR, LE FEU, L'EAU ET LA TERRE

Armés de nouveaux matériaux, de technologies de pointe et d'une bonne dose d'imagination, ingénieurs, scientifiques et... aventuriers mettent au point des

solutions innovantes et audacieuses pour tenter de maîtriser les quatre éléments de la planète :

air, feu, eau et terre. Mais parvenir à dompter ces titans de la nature est un défi de taille!



**Les maîtres des éléments**  
Les lundis 6 et 13 mars à 20h45

## PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ

Face à l'industrialisation à outrance, préserver l'environnement est devenu une priorité dans beaucoup de pays. Scientifiques, écologistes, militants d'ONG et responsables gouvernementaux du monde entier reviennent sur les mérites, les limites et les effets pervers des différentes solutions envisagées pour protéger la biodiversité.





**La biodiversité menacée, quelles solutions pour demain ?**  
Mercredi 22 mars à 20h45

Scannez ce QR code pour en savoir plus :



**Offre réservée aux abonnés de science-et-vie.com**

Plus d'informations sur @scienceetvietv   



NOUVEAUTÉ 2023

# Au cœur des mythes et légendes du PAYS CATHARE

6 jours / 5 nuits - 4 départs d'avril à septembre 2023



Notre partenaire  
Shanti Travel est noté

Excellent



Sur la base de 1 280 avis



**Un séjour conçu exclusivement à nos lecteurs !**

**Laissez-vous séduire par un séjour sur un territoire au patrimoine d'exception aux paysages à couper le souffle.... Le pays Cathare est profondément emprunt de mystères et de légendes, partez à sa découverte !**

- Une immersion de **6 jours** à travers l'histoire du pays Cathare
- Un programme d'excursions guidées et incluses : l'Abbaye d'Alet-les-Bains, la cité médiévale de Mirepoix, Nébias et sa forêt...
- De splendides panoramas sur les pyrénées et ses environs.
- Un séjour en **petit groupe** (12 à 25 personnes) et accompagné pour en apprécier toute l'essence !
- **1260 €/pers** en base double (**hébergement en hôtel 3 étoiles, visites et repas prévus au programme, accompagnateur**)

Téléchargez la documentation complète sur notre site

[www.voyages-lecteurs.fr/sv](http://www.voyages-lecteurs.fr/sv)

OU

Informations & réservations

01 41 33 57 03 EN PRÉCISANT **SCIENCE&VIE**

Du lundi au vendredi de 9h30 à 18h30



**OU** Demandez votre brochure sans engagement en retournant ce coupon à : **Science&Vie - Séjour en pays Cathare** - 59 898 LILLE CEDEX 9

SS23CATP

Nom\* : ..... Prénom\* : .....

Adresse\* : .....

CP\* : ..... Ville\* : ..... Tél.: .....

Pour bénéficier des offres de Science&Vie et de ses partenaires, email .....

\*A renseigner obligatoirement pour traiter votre demande.

Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique fondé sur votre consentement et destiné à Reworld Media France SAS en sa qualité de responsable de traitement. Les finalités poursuivies sont l'envoi de la brochure et les offres relatives aux voyages avec nos partenaires si vous y consentez. Ce séjour est organisé par Shanti Travel SAS, immatriculation IM075190042. L'inscription au voyage implique l'acceptation des conditions générales et particulières de vente de Shanti Travel au dos du bulletin de réservation joint à la brochure. Les données personnelles sont conservées jusqu'à votre demande de suppression. Conformément à la loi Informatique et Libertés n°78-17 modifiée, vous disposez notamment des droits d'accès, rectification, effacement, limitation de vos données. Vous pouvez, pour des motifs légitimes, vous opposer au traitement de vos données. Pour en savoir plus, veuillez consulter notre Politique de confidentialité. Pour exercer vos droits, écrivez à : Reworld Media France - DPD Service juridique, 40 Avenue Aristide Briand 92220 BAGNEUX ou par mail : dpd@reworldmedia.com. Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - www.cnil.fr Crédits Photo : Shutterstock.



**SHANTI**  
travel.com

**SCIENCE&VIE**

# L'actu des sciences



^ Comme sur cette simulation, les images UV révèlent des flots de particules s'échappant d'un trou sombre à l'équateur solaire.



ASTROPHYSIQUE

# ON A VU NAÎTRE LES VENTS SOLAIRES

Pour la première fois, une équipe internationale a publié des images de la couronne moyenne du Soleil en rayonnement ultraviolet. Elles révèlent enfin le lieu de naissance des vents solaires qui balaient la Terre. Jusqu'à présent, en effet, l'origine exacte de ces rafales de particules chargées en ions et en électrons, engendrant des pannes dans nos réseaux électriques et nos satellites, restait inconnue. Une des

hypothèses évoquait un échappement irrégulier de matière depuis l'équateur solaire. *"Dans cette région, on observe des lignes de champ magnétique en forme de boucles, explique Sophie Masson, astronome à l'Observatoire de Paris. Fermées, elles emprisonnent la matière de la couronne solaire. Mais elles peuvent s'ouvrir et éjecter leur contenu dans l'espace."* Pour le vérifier, les chercheurs ont analysé un mois d'observation en

UV du Soleil grâce à plusieurs satellites. De quoi dévoiler des images inédites de la couronne moyenne, cette couche de l'atmosphère solaire située 350 000 km au-dessus de la surface visible de l'astre. Des taches sombres s'y distinguent à l'équateur, où s'ouvrent des lignes de champ magnétique. Or ces dernières sont bel et bien parcourues par des flots denses de particules : c'est là que naissent les vents solaires. **A.D.**



MATÉRIAU

## LE SECRET DU BÉTON ROMAIN ÉTAIT DE LA CHAUX VIVE !

Deux millénaires après sa construction, la coupole du Panthéon de Rome – la plus grande en béton sans renforts métalliques qui soit – ne montre aucun signe de faiblesse dans sa structure. Aucun béton moderne ne pourrait en dire autant... Comment les maçons de la Rome antique fabriquaient-ils un mortier si résistant ? Une équipe américaine

semble avoir enfin découvert leur secret : une mixture à chaud. *“De la chaux vive était ajoutée au mélange de mortier, ce qui provoquait une réaction avec l'eau et faisait chauffer l'ensemble,* décrit Admir Masic, chercheur au Massachusetts Institute of Technology, aux États-Unis, et auteur de l'étude. *Cette réaction engendre le dépôt de*

*fragments de calcaire dans le béton, lui conférant une capacité d'autoréparation.*” En effet, lorsque le béton moderne se fissure, de l'eau ou de l'humidité pénètre dans l'ouverture, qui finit par s'élargir. Mais dans le béton antique, l'infiltration d'eau provoquait, elle, la dissolution de la chaux : les ions calcium se recristalisaient alors,

réparant la fissure. La redécouverte de cette technique pourrait sans conteste améliorer nos matériaux actuels. *“Nos essais de mélange à chaud avec du béton moderne ont montré les mêmes capacités de réparation, s'enthousiasme Admir Masic. Nous allons pouvoir développer un béton plus résilient et durable.”*

V.F.

✓ Aucun béton moderne n'égale, en résistance, celui qui constitue la coupole du Panthéon romain.



△ Le jour, les grenouilles vertes du Costa Rica deviennent translucides en masquant leur sang, pour échapper au regard de leurs prédateurs.

#### ÉTHOLOGIE

## CES GRENOUILLES CACHENT LEUR SANG DANS LEUR FOIE

Les grenouilles vertes du Costa Rica ne sont vertes que la nuit. Le jour, elles sont translucides et font même disparaître leur sang ! Comment ? Des biologistes américains de l'université Duke, en Caroline du Nord, viennent de le découvrir grâce à une technique de microscopie photoacoustique. *“Une lumière vive est projetée sur les grenouilles, sans les perturber, et elle est absorbée par leur hémoglobine, le pigment des globules rouges, décrit Junjie Yao, professeur adjoint d'ingénierie biomédicale. L'absorption est convertie en ondes ultrasonores, ce qui nous permet de cartographier les globules rouges dans le corps.”* Les chercheurs ont ainsi pu observer *in vivo* le sang des batraciens : par moments, 90 % de celui-ci est stocké dans leur foie qui, doté d'une membrane externe semblable à un miroir, est invisible.

Les grenouilles deviennent alors deux à trois fois plus translucides ! *“Comment peuvent-elles stocker autant de globules rouges dans un même organe sans former des caillots ?”* s'étonne le biologiste.

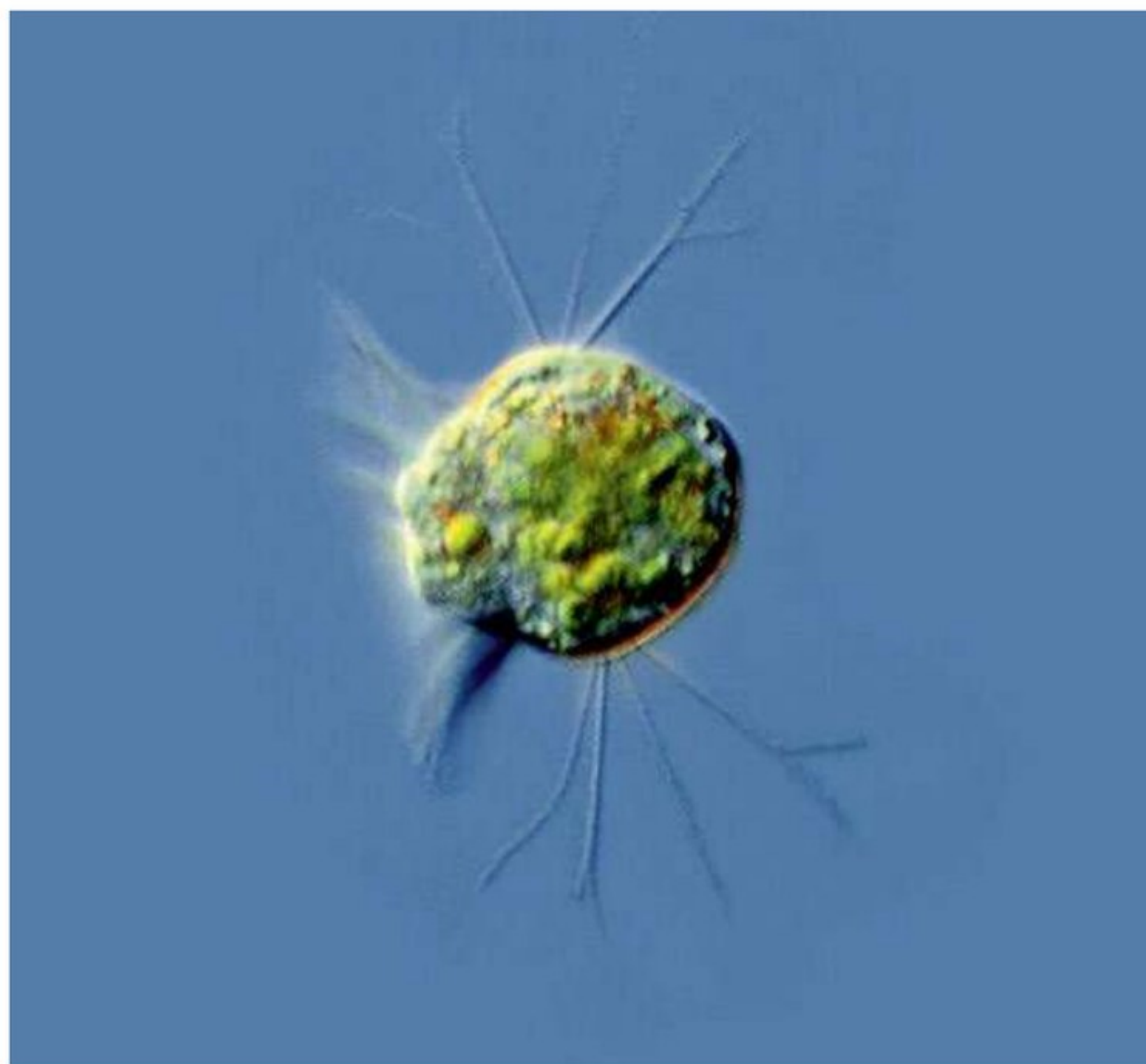
O.D.

SHUTTERSTOCK

ÉCOLOGIE

## LES ALGUES BRUNES DÉCARBONENT L'ATMOSPHÈRE

Pour la première fois, un groupe de microbiologistes marins de l'Institut Max-Planck de Brême a évalué la quantité de carbone stocké chaque année dans le monde par les algues brunes : 550 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit grosso modo les émissions de gaz à effet de serre de la France ! Le varech (*Fucus vesiculosus*), abondant sur les côtes bretonnes, dans la Baltique, l'Atlantique et le Pacifique, fabrique en effet du mucus à partir du CO<sub>2</sub> capté par la photosynthèse. Or ces sécrétions, composées de fucoïdanes (de longues molécules de polysaccharides), persisteraient des milliers d'années dans l'environnement. L'équipe allemande a donc développé une nouvelle technique, à base d'anticorps monoclonaux qui se fixent sur ces molécules, pour les identifier et les quantifier. Elle conclut que les algues brunes absorbent et stockent durablement 0,3 % de leur biomasse sous forme de fucoïdanes chaque jour ! Pourrait-on alors les cultiver afin de lutter contre le changement climatique ? *"Il existe des projets de ce type, mais les capacités de culture de ces algues restent limitées, et on n'en connaît pas les conséquences à très grande échelle, pointe Philippe Potin, de la station biologique de Roscoff. Mieux vaut préserver les laminaires sauvages."* Les champs de cette algue brune, qui peut atteindre 4 m de long, gagnent du terrain près des pôles, mais ils sont en régression dans les eaux tempérées. **A.D.**



CREATIVE COMMONS - SHUTTERSTOCK

MICROBIOLOGIE

## CE CILIÉ SE NOURRIT DE... VIRUS !

Une assiette de virions, c'est-à-dire de particules virales ? Voilà ce qui figure au menu de certains protistes ciliés. Ces organismes unicellulaires, courants dans nos étangs, qui possèdent un noyau et s'entourent de cils à leur

surface, semblent même en tirer suffisamment de nutriments pour survivre et se développer, révèlent deux études indépendantes. John DeLong et son équipe de l'université du Nebraska, aux États-Unis, ont ainsi mis des ciliés du genre *Halteria* en présence de chlorovirus, des virus géants de 0,1 à 0,2 µm qui parasitent les microalgues vertes.

< Ce prédateur de virus est capable de décimer des populations entières de ces microbes.



^ Les laminaires stockent le CO<sub>2</sub> par le biais d'un mucus qu'elles sécrètent.

Les premiers ont alors ingéré les seconds, dont la quantité a été réduite d'un facteur 100 en deux jours ! De l'autre côté de l'océan, à l'École polytechnique de Lausanne, en Suisse, Margot Olivea, elle, observé que des ciliés *Tetrahymena pyriformis* consommaient une grande variété de virus, dont celui de la grippe influenza ou le polyomavirus, le virus du carcinome...

Ces résultats ouvrent des perspectives vertigi-

neuses, souligne Laurent Palka, enseignant-chercheur du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris : *"Les protistes pourraient-ils contrôler une infection virale humaine ? Ou rallonger la durée des blooms de microalgues, qui piègent massivement le CO<sub>2</sub> atmosphérique, en s'attaquant aux virus géants qui les infectent ?"* Ce qui est sûr, c'est que les virus ont des prédateurs. Et qu'on a tout à gagner à mieux les connaître... **A.D.**

---

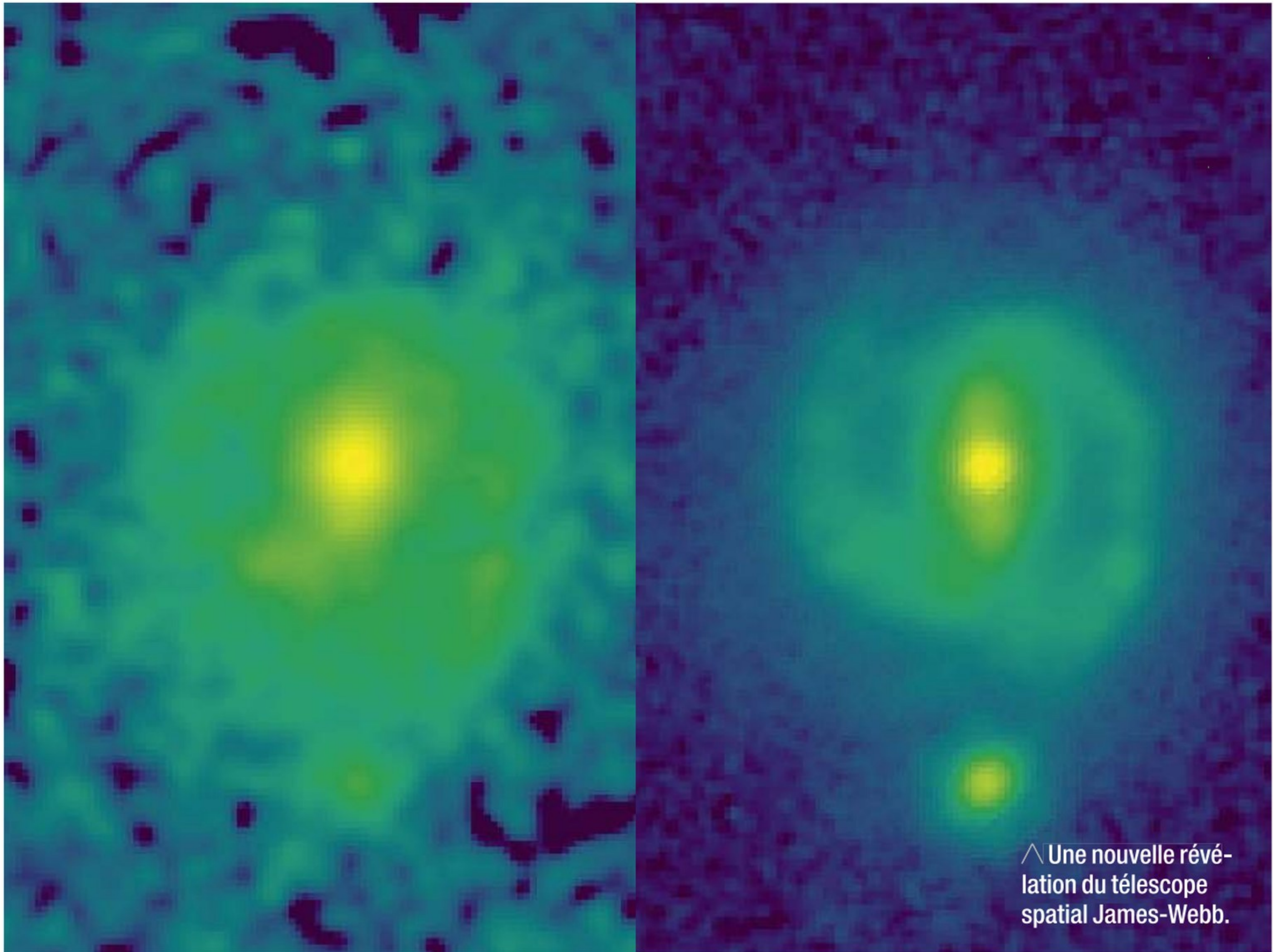
## Ça reste à prouver...

---

### L'ART PARIÉTAL SERAIT UNE PROTO-ÉCRITURE

Un amateur d'art pariétal, restaurateur de meubles, aurait enfin percé le secret de certains symboles préhistoriques tracés par nos ancêtres sur les parois des grottes ! C'est la conclusion – massivement reprise dans les médias – d'une étude publiée dans la revue *Cambridge Archaeological Journal* et répertoriant des points, des bâtonnets et des symboles fourchus en Y accompagnant les peintures d'animaux. *"J'ai compilé les données initiales, puis mes coéquipiers les ont examinées"*, explique Bennett Bacon, à l'origine de l'article. L'équipe aurait découvert deux choses : aucune des séries de symboles n'aurait plus de 13 éléments, comme les 13 cycles du calendrier lunaire, et l'emplacement du Y marquerait les périodes de reproduction des animaux dessinés. L'ensemble formerait donc une sorte de calendrier préhistorique, bien avant l'invention de l'écriture ! *"Sauf que cette démarche ne tient pas la route"*, réfute Jean-Loïc Le Quellec, spécialiste de l'art pariétal. *Quand on examine l'ensemble de leurs données, on se rend compte que non seulement il existe des séries à bien plus que 13 points, mais que la majorité n'ont que 3 ou 4 points. Aussi, certains Y sont inclus dans le tracé de l'animal et d'autres non"*, ajoute-t-il. Plus encore, en l'absence de datation précise, rien n'indique que les symboles et les animaux sont liés : les dessins ont pu être peints l'un au-dessus de l'autre au cours du temps. *"L'hypothèse du calendrier lunaire n'est pas nouvelle, mais la conclusion de cette étude est hâtive : entre l'exclusion des données qui ne vont pas dans leur sens, et le choix arbitraire d'un symbole parmi d'autres, elle ne prouve rien en soi"*, conclut Jean-Loïc Le Quellec. **Bref, on se calme.** **A.-L.T.**

---



^ Une nouvelle révélation du télescope spatial James-Webb.

NASA/GUO, JOGEE, FINKELSTEIN AND CEERS COLLABORATION/UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN - SHUTTERSTOCK

**COSMOLOGIE**

## **CES GALAXIES SPIRALES BARRÉES COMPTENT 11 MILLIARDS D'ANNÉES !**

Moins de 3 milliards d'années après la naissance de l'Univers, des galaxies spirales barrées parsemaient déjà l'Univers! C'est la récente révélation du télescope James-Webb. *"Nous ne savions pas si de telles galaxies existaient dans un Univers si jeune"*, s'enthousiasme Yuchen "Kay" Guo, chercheuse à l'université du Texas, aux États-Unis, et l'une des auteures de l'étude. Les galaxies spirales barrées sont des galaxies constituées de bras spiraux et traversées par une "barre" de gaz et d'étoiles, comme l'est notre Voie lactée. Dans ces barres, les étoiles se forment à un rythme effréné: entre 10 et 100 fois plus rapidement que dans le reste de la galaxie. Or, *"il existe différentes théories qui font chacune une hypothèse sur la quantité de gaz ou de matière noire nécessaire à la formation de telles structures et à leur stabilité dans le temps, décrit Yuchen Guo. Et toutes ces prédictions sont différentes"*. Cette découverte aura donc de grandes répercussions sur notre compréhension de l'évolution galactique. **E-O.E.**

## **30 ans**

**C'est l'âge des plus vieux bébés du monde! Ou plutôt l'âge de conception de leurs embryons par fécondation *in vitro*, le 22 avril 1992. Après les avoir conservés congelés dans l'azote liquide, les parents biologiques les ont offerts, en 2007, au Centre national de don d'embryons de Knoxville, dans le Tennessee. Deux ont été adoptés et, le 31 octobre dernier, sont nés des jumeaux, un garçon et une fille. Leur père adoptif n'avait que 5 ans à leur conception. O.D.**

## 3 DÉCOUVERTES SUR...

# LES HABITS DES PREMIERS HUMAINS

Les humains de la préhistoire sont souvent représentés affublés de peaux de bêtes. Sauf que les preuves de tels vêtements, périssables, restent rares. Quelques exceptionnels indices ont tout de même été découverts : ils témoignent, souvent de manière indirecte, de la longue histoire des premiers habits, de la simple peau d'ours tannée jusqu'à la confection de vêtements cousus de plusieurs pièces.

PAR OLIVIER DONNARS

1

### L'humain revêtait des peaux d'ours il y a 300 000 ans

Sur le site archéologique de Schöningen, en Allemagne, où vivait une communauté de chasseurs il y a 300 000 ans, des paléontologues ont déniché des os d'une patte d'ours portant de curieuses traces de couteau, fines et précises. Pas des marques de dépeçage de viande – il y en a trop peu sur cette partie du corps –, mais les preuves d'un dépeçage de la peau, estiment les chercheurs. Les ours des cavernes possèdent une épaisse fourrure, garnie l'hiver d'un sous-poil particulièrement isolant. Elle devait fournir aux humains une protection efficace contre les grands froids de l'hiver.

2

### Il confectionnait des vêtements il y a au moins 45 000 ans...

Au Maroc, dans la grotte dite "des Contrebandiers", une équipe internationale a identifié une soixantaine d'outils osseux datant de 120 000 ans. Ces larges objets aux extrémités arrondies comme des spatules, fabriqués à partir de côtes de bovidés, convenaient à merveille pour gratter et enlever les tissus des cuirs lors de la fabrication de peaux, selon les chercheurs. Il s'agit donc des plus anciens outils jamais découverts pour la confection d'habits ! Mais c'est bien plus tard, il y a 45 000 ans, qu'apparaissent les premières aiguilles en os : elles permettaient d'assembler deux pièces en passant un fil, et donc de confectionner un vêtement.

3

### ... et des chaussures il y a 30 000 ans !

Dans la grotte de Cussac, en Dordogne, célèbre pour ses gravures vieilles de 30 000 ans, des paléontologues français ont découvert trois empreintes humaines de pieds gauches et quatre de pieds droits. Elles sont peu profondes mais on y distingue le talon, la voûte plantaire, et plus ou moins le gros orteil, mais pas les autres. Autrement dit, ces pieds n'étaient pas nus mais très certainement chaussés de cuir souple en peau animale, sans doute rembourré de végétaux. Impossible toutefois de dire si ces chaussettes servaient à se protéger du sol ou si elles avaient une portée symbolique dans cette grotte particulière...

✓ Le 1L sculpte le marbre de Carrare avec une infinie précision. Le polissage reste manuel...



## ROBOTIQUE

# VOICI VENIR LES ROBOTS SCULPTEURS

1L, c'est le nom donné à un robot de presque 4 m conçu par la société Rotor. Son rôle ? *"Faire le travail d'une armée de sculpteurs de la Renaissance"*, répond son inventeur, Giacomo Massari. 1L est en effet capable de sculpter le marbre à échelle et vitesse industrielles, un marbre d'ailleurs choisi pour ses qualités : extrait des car-

rières de Carrare, il a été utilisé, entre autres, par Michel-Ange. *"Ce type de machine-outil à commande numérique, CNC, est utilisé depuis des décennies sur des chantiers de restauration"*, explique Jean-Charles Moretti, directeur de recherche CNRS à l'Institut de recherche sur l'architecture antique (IRAA). *Par exemple, les blocs bri-*

*sés de l'Acropole d'Athènes sont numérisés et le morceau manquant est produit par ce type de machine. On obtient ainsi deux surfaces complexes qui adhèrent parfaitement l'une à l'autre."* 1L représente la dernière génération de ces robots sculpteurs : il peut dorénavant reproduire rapidement n'importe quelle forme modélisée en 3D

avec une précision de 99 %, assure son concepteur. Le 1 % restant ? *"L'aspect de la surface est différent car les robots ne travaillent pas en percussion posée"*, répond Jean-Charles Moretti. *Ils créent des lignes de diverses profondeurs, qu'il faut ensuite polir à la main."* L'intervention humaine est donc encore nécessaire... pour le moment. **V.F.**



# DEUX GLACIERS SUR TROIS POURRAIENT DISPARAÎTRE D'ICI À 2100

De nouvelles projections de la perte de masse des glaciers au cours du siècle viennent d'être publiées par une équipe internationale, et elles sont alarmantes. Elles sont issues d'un travail méticuleux de modélisation, calibré à l'aide d'une quantité sans précédent de données, et fondé sur des projections d'augmentation de la température allant de +1,5°C à +4°C. Selon la trajectoire la plus réaliste (+2,7°C d'ici à la fin du siècle), le monde perdrait 32 % de la masse glaciaire... soit pas moins de 68 % des glaciers en nombre ! Les petites régions glaciaires comme l'Europe centrale, les basses latitudes comme les Andes et certaines zones d'Amérique du Nord seront

particulièrement affectées, du fait de leurs hivers moins rigoureux et leurs étés plus longs. Et en cas d'augmentation de 3°C, ces régions glaciaires disparaîtront quasi complètement ! *"Les glaciers ont un temps de réaction long"*, explique David Rounce, professeur adjoint de génie civil et environnemental à l'université Carnegie Mellon de Pennsylvanie, aux États-Unis, l'un des auteurs de l'étude. *"Cela signifie que même si le climat se stabilisait aujourd'hui, il faudrait aux glaciers des décennies pour arrêter de perdre de la masse et atteindre un nouvel équilibre."* De quoi inciter à abaisser les objectifs de température en deçà de la barre des 2,7°C... **E.H.**



△ Le glacier Hubbard, en Alaska, s'effondre dans l'océan par blocs de plusieurs kilomètres de longueur.



△ Les produits toxiques s'accumulent dans les feuilles, via les racines.

## ENVIRONNEMENT

# LA LAITUE ABSORBE TOUS LES COMPOSÉS DES PNEUS

1 kg par personne et par an : c'est la quantité de particules d'usure des pneus produite par le trafic automobile. Et par le vent, les boues d'épuration et les eaux usées qui transportent les particules des routes vers les terres agricoles, une partie se retrouverait dans notre assiette ! C'est ce que suggère une équipe de l'université de Vienne, en Autriche. En laboratoire, les géoscientifiques ont ajouté cinq produits chimiques aux substrats de culture de plants de laitue pendant 14 jours. Résultat : les plants ont absorbé en continu tous les composés par leurs racines, et les ont transférés dans les feuilles. Grâce à la spectrométrie de masse à haute résolution, les scientifiques ont aussi identifié les produits de leur métabolisation. "Ces composés n'ont jamais été décrits auparavant !" s'exclame Thilo Hofmann, l'un des auteurs. *Comme nous ne connaissons pas la toxicité de ces métabolites, ils présentent potentiellement un risque pour la santé.* **E.H.**

## LINGUISTIQUE

### UNE SONORITÉ AGRESSIVE NE FAIT PAS LE JURON

STEPHANIE CASTAN & GABRIEL SIGMUND - SHUTTERSTOCK  
Quand un étranger jure, il n'est souvent pas nécessaire de comprendre sa langue pour le savoir... Et pourtant, les mots utilisés ne semblent pas forcément construits à partir de sonorités agressives, révèle une étude britannique. Les chercheurs ont comparé les gros mots courants en hébreu, hindi, hongrois, coréen et russe, à des mots neutres, ceci afin de tester le symbolisme phonétique, soit la possible corrélation entre la sonorité d'un mot et son sens. En vain : contrairement à leur

hypothèse, les jurons n'incluent pas plus de consonnes percutantes (t, p, k, b, q...) que les autres mots. En revanche, des volontaires pensaient plus facilement entendre un juron dans une langue inconnue si le mot ne contenait pas les sons des lettres l, r, w ou y. Un point commun ? Pas sûr, commente le linguiste Louis-Jean Calvet : "En français, il y a des dizaines de jurons dans lesquels le mot 'Dieu' apparaît, et on y entend bien le son du 'y'." Nom de D...! **A.D.**

## 900 t

C'est la masse de débris éjectés de l'astéroïde Dimorphos suite à sa collision avec la sonde Dart de la Nasa, le 26 septembre 2022. Et c'est un minimum : "Ce pourrait être dix fois plus", indique Andy Cheng, de l'université Johns-Hopkins (États-Unis). L'éjectât, telle une queue de comète, s'étire désormais sur des dizaines de milliers de kilomètres. **S.F.**

## En bref



### LES PLUS ANCIENS OUTILS À RÉCOLTER LE RIZ

Ce sont des pierres taillées découvertes en Chine et datées de 7 à 10 000 ans. Les traces d'usure et des résidus végétaux témoignent de leur fonction : elles servaient à récolter le riz, dont les premières variétés domestiques apparaissent à la même époque. Ces outils permettaient de sélectionner efficacement les inflorescences arrivées à maturité. **A.D.**

### LES GUÊPES MÂLES PIQUENT AVEC LEUR PÉNIS

Ils n'ont pas de dard et pourtant, ils piquent ! Une chercheuse japonaise l'a appris à ses dépens : en manipulant des mâles de guêpes supposés inoffensifs, ils l'ont quand même piquée avec les deux épines rétractables placées de chaque côté de leur organe sexuel. Par contre, ce type de piqûre ne s'accompagne pas de venin, comme avec le dard. **O.D.**

SCIENCE & VIE ET OBJECTIF SCIENCES INTERNATIONAL  
PRÉSENTENT

terra  
SCIENTIFICA

Salon international  
des sciences participatives  
et du voyage scientifique

## LE SALON DES VOYAGES QUI ONT DU SENS

**Vos prochaines vacances se trouvent ici!**

Venez en solo, en famille ou entre amis à la rencontre des agences de voyages, associations, parcs naturels et centres de recherche.

**Tout pour réussir un voyage à votre image.**

**Venez en famille!**

**Nombreux ateliers enfant ou adulte**

**Conférences • Expositions**



**2<sup>e</sup> ÉDITION**

**ENTRÉE 2€**  
reversés à une ONG\*  
**OU ENTRÉE  
GRATUITE**  
sur inscription

**Les 24, 25 & 26  
mars 2023**

**à la Cité des sciences et de l'industrie, Paris**

[WWW.TERRA-SCIENTIFICA.COM](http://WWW.TERRA-SCIENTIFICA.COM) • [INFO@TERRA-SCIENTIFICA.COM](mailto:INFO@TERRA-SCIENTIFICA.COM)

TÉL. : +33 (0)1 85 08 17 40

\* Vous pouvez vous inscrire gratuitement en ligne sur [www.terra-scientifica.com](http://www.terra-scientifica.com) (en amont ou sur place) ou bien payer 2€. L'intégralité de la somme récoltée sera reversée au programme de protection de la Panthère des neiges.

**SCIENCE & VIE**

Objectif  
Sciences  
International  
Since 1992

Avec la  
participation  
de :

**cité**  
sciences  
et industrie

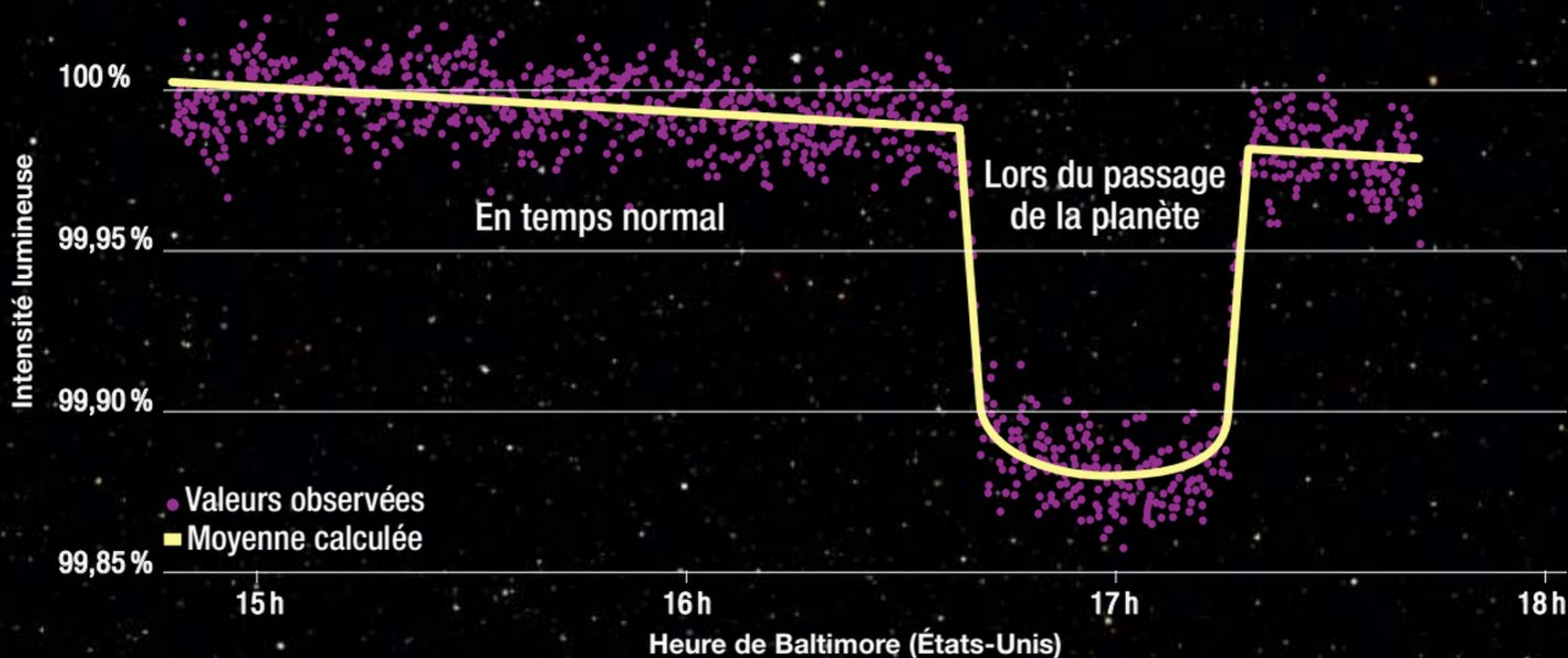
ASTRONOMIE

# LE JAMES-WEBB A MIS AU JOUR SA PREMIÈRE EXOPLANÈTE

Le télescope spatial a même su caractériser cet astre, situé à 41 années-lumière de notre monde : une planète rocheuse, de la taille de la Terre, baptisée LHS 475b. Mais elle orbite bien trop près de son étoile, une naine rouge, pour être habitable.

PAR ANNE DEBROISE

COURBE DE LUMINOSITÉ DE L'ÉTOILE LHS 475



MIKO KONTENTE - NASA, ESA, CSA, LEAH HUSTAK (STSCI)

## 1. UNE CONFIRMATION ÉCLATANTE

Le TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), un satellite balayant en permanence le ciel en quête d'exoplanètes, avait permis d'identifier une candidate intéressante dans la constellation de l'Octant. Il indiquait que la lumière nous parvenant de l'étoile LHS 475; une naine rouge, s'obscurcissait à intervalles réguliers : signe qu'une planète s'interposait entre elle et nous. Le James-Webb vient de le confirmer.

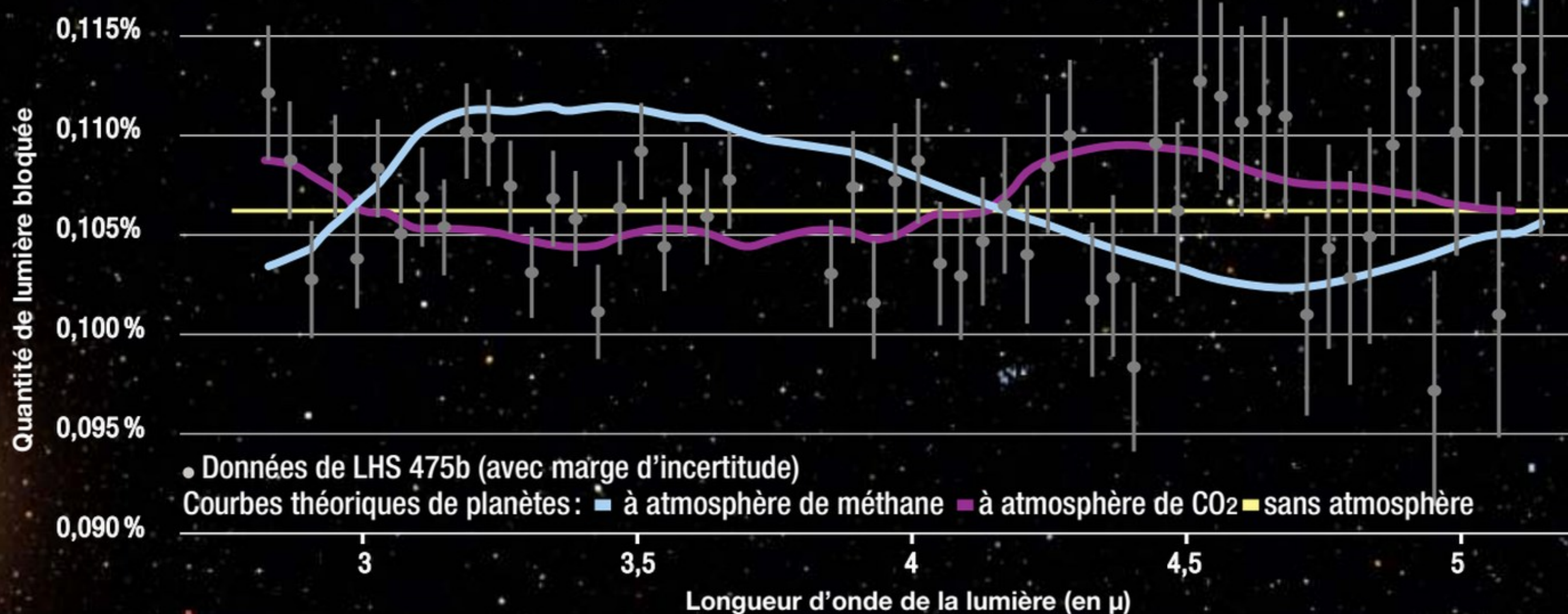
## 2. PETITE, CHAUDE ET RAPIDE...

La courbe de luminosité de LHS 475 lors de son transit (*ci-dessus*) marque une nette baisse durant 40 min. Cela permet d'estimer la taille de l'exoplanète : 99 % de celle de la Terre. En revanche, LHS 475b fait le tour de son étoile en 2 jours, preuve d'une grande proximité entre elles. Les températures régnant à la surface doivent atteindre plusieurs centaines de degrés !

## 5. LA PREMIÈRE DÉCOUVERTE D'UNE LONGUE SÉRIE

Cette mise en évidence est la preuve que les instruments du James-Webb fonctionnent parfaitement : ils sont capables de repérer de petites exoplanètes et d'analyser la composition de leur atmosphère. LHS 475b est sans doute la première d'une longue série. La quête d'une véritable jumelle de la Terre, habitable cette fois, est lancée !

### ANALYSE DU SPECTRE DE TRANSMISSION DE L'EXOPLANÈTE LHS 475b



### 3. ... MAIS SANS ATMOSPHÈRE

Le spectre de transmission de LHS 475b (ci-dessus) ne ressemble pas à ce que l'on obtient en présence d'une atmosphère de méthane (courbe bleue) ou de dioxyde de carbone (rose). Il se rapproche plus d'un monde sans atmosphère (jaune). Mais les instruments ne sont peut-être pas assez sensibles pour repérer une couche compacte de CO<sub>2</sub>, comme celle qui enveloppe Vénus.

### 4. COMMENT LE SAIT-ON ?

Grâce au NIRSpec, le spectrographe embarqué sur le James-Webb, qui mesure chaque longueur d'onde de la lumière qui nous parvient. On a ainsi pu modéliser la courbe de luminosité de l'étoile. Puis, en étudiant sa lumière filtrée par l'atmosphère de la planète – au moment où celle-ci lui passe devant –, on a reconstitué le spectre de transmission de LHS 475b, et caractérisé son atmosphère.

SOURCES: NASA



### Le paysage actuel est totalement autre

Aujourd'hui recouvert de glace dans sa quasi-totalité, le Groenland abritait, il y a 2 millions d'années, une flore luxuriante et une faune variée.

#### PALÉOGÉNÉTIQUE

# DE L'ADN DÉVOILE LE GROENLAND D'IL Y A 2 MILLIONS D'ANNÉES

C'est un travail vertigineux, qui fera date dans le champ de la paléontologie : les plus anciens fragments d'ADN, âgés de 2 millions d'années, ont été découverts au Groenland. Leur analyse fait apparaître tout un écosystème disparu et jusqu'ici inconnu.

PAR **OLIVIER DONNARS**

Des mastodontes, des lièvres, des rennes, des bactéries, des champignons, une végétation diversifiée et luxuriante... Voilà les incroyables révélations de quelques grammes de permafrost, ce sol gelé en permanence, récoltés au Groenland. Depuis le milieu des années 2000, une équipe internationale de chercheurs s'attaque à un trésor : une dalle de sédiments profonde de 100 m, située dans la formation de Kap København, la partie la plus septentrionale de l'île. Ces sédiments se sont accumulés durant 20 000 ans dans l'embou-

chure d'un fjord, et représentent de nos jours une véritable fenêtre sur le passé environnemental de la région, dans laquelle plusieurs fossiles ont déjà été retrouvés.

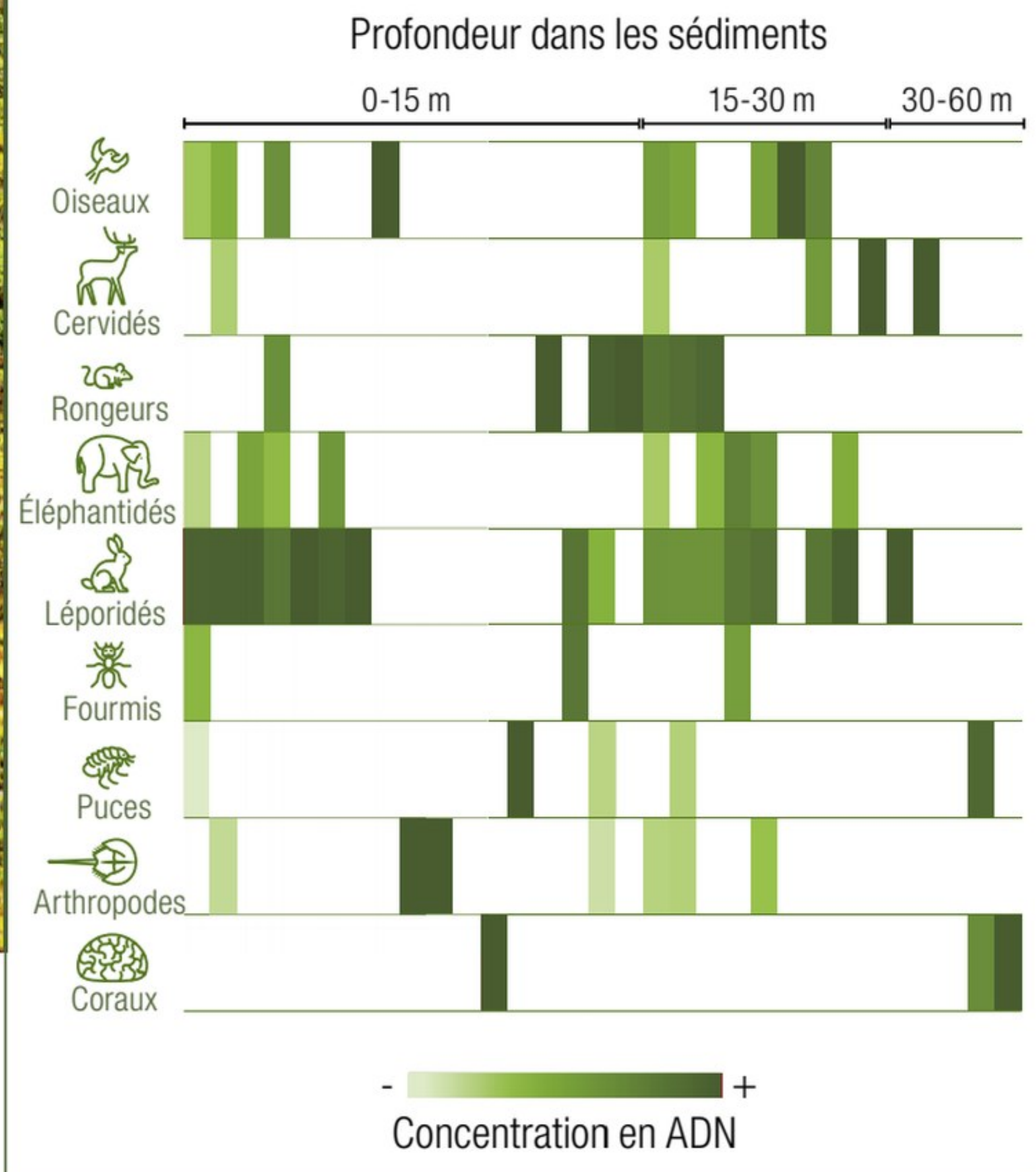
#### **MATÉRIEL ULTRA-FRAGILE**

Les chercheurs se sont mis en quête d'ADN environnemental ancien, à l'intérieur de fragments récoltés directement dans les sédiments. La collecte a débuté en 2006, *"mais nous avons dû patienter, le temps qu'une technologie plus avancée nous permette d'extraire de l'ADN aussi fragile"*, explique le coauteur de l'étude Chris



Kap København

## Les espèces animales présentes à l'époque retrouvées à différentes profondeurs



Bowler, de l'institut de biologie de l'École normale supérieure, à Paris.

Puis il a fallu désolidariser ce matériel génétique du quartz et de l'argile, sans l'abîmer ni le contaminer avec de l'ADN récent. Pas moins de 41 fragments microscopiques ont ainsi été récoltés et étudiés. Là, c'est le choc : ce matériel génétique est plus vieux de 1 million d'années que le précédent record d'ADN ancien, détenu par une molaire de mammoth sibérien, datée de 1,2 million d'années. "Il est stupéfiant de trouver de l'ADN préservé depuis 2 millions d'années!"

SHUTTERSTOCK - ANTOINE DAGAN

s'enthousiasme Stanislav Jelavic, de l'Institut des sciences de la Terre, à l'université Grenoble Alpes et coauteur de l'étude. *La nature argileuse du terrain l'a certainement protégé de l'eau, des rayons UV et des enzymes bactériennes.*

Chaque fragment a été comparé avec de vastes bibliothèques d'ADN provenant d'animaux, plantes et micro-organismes actuels. Certains ont pu être classés comme les ancêtres d'espèces actuelles, d'autres n'ont pas pu être référencés. Les résultats dévoilent le riche écosystème qui habitait la

région lorsque celle-ci enregistrait 11 à 17 °C de plus qu'aujourd'hui. La contrée était couverte de forêts de peupliers, thuyas, épicéas, bouleaux, mais aussi d'arbustes et d'herbes boréales. "Un mélange de flore boréale et arctique moderne, mais qui ne ressemble à aucun milieu actuel", précise Chris Bowler. Dans cet environnement frayaient des espèces d'oiseaux, d'oies, de lièvres, de rongeurs et de rennes, mais aussi des animaux marins au sein

d'algues vertes. Enfin – et c'est sans doute la plus grande surprise – une espèce de mastodonte, un mammifère cousin de l'éléphant. "Trouver de l'ADN de mastodonte était fou!" s'exclame Stanislav Jelavic. *Personne ne s'attendait à en trouver au sommet du Groenland, où on n'a jamais trouvé de fossiles – les plus proches se trouvant de l'autre côté de la mer, en Amérique du Nord.* La technique de l'ADN environnemental n'a pas fini de nous faire remonter le temps.



## UN, TWO, SAN...

Avec ses 139 de QI, le jeune Britannique Theodore Hobbs vient d'être admis dans la prestigieuse organisation Mensa – réservée aux personnes à très haut potentiel – à seulement... 4 ans! Selon sa mère, il a appris à lire tout seul à 2 ans, sait compter dans 7 langues différentes – dont le mandarin – et adore dire "caca". On ne lui enlèvera pas son enfance.

### 1

C'est le temps, en année, depuis lequel aucun rhinocéros n'a été braconné dans l'État d'Assam, en Inde: une première en 45 ans. On souhaite aux rhinos encore pleins d'anniversaires de ce type!

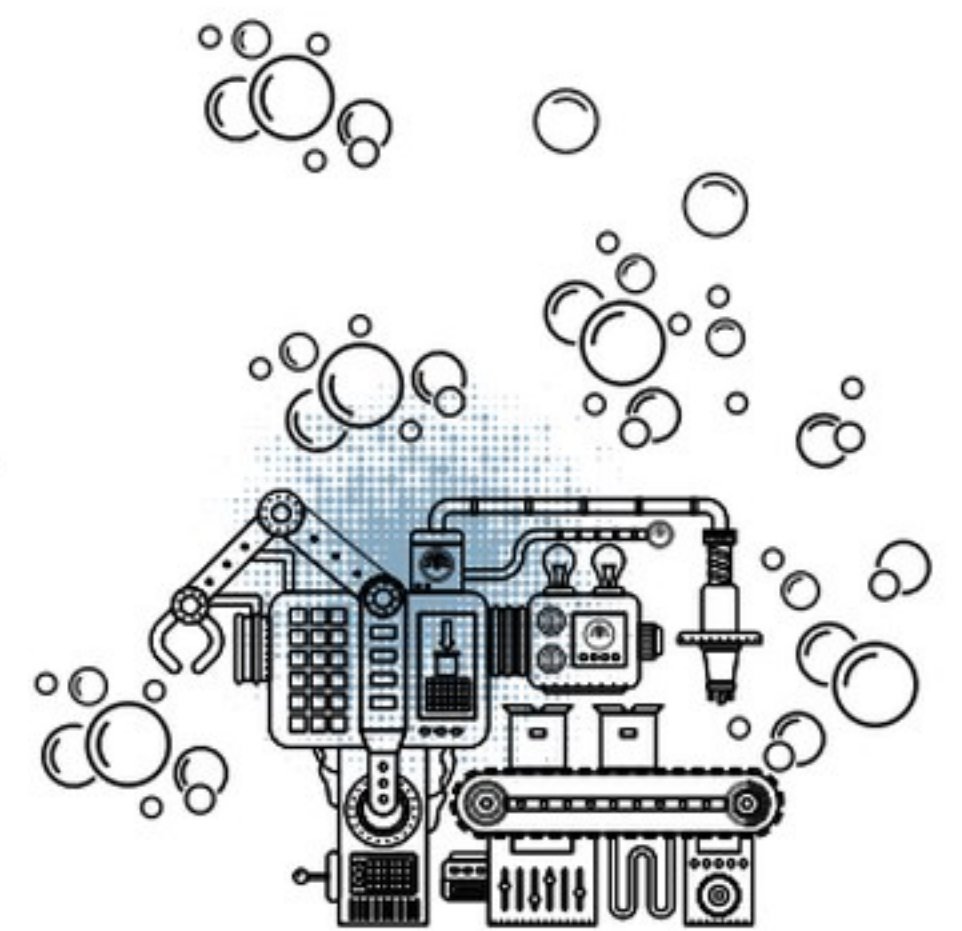
## "I AM THE WALRUS"

Pour éviter de perturber un morse venu se reposer dans son port, la ville de Scarborough, au Royaume-Uni, a décidé... d'annuler son feu d'artifice du Nouvel An! Thor, c'est son nom, a fait le spectacle à la place – nombre de passants sont venus l'admirer. Et il a pu regagner ensuite le large sans être stressé. L'humain est parfois si admirable.

SHUTTERSTOCK

## Vous adorez "larver" au lit? On a un job!

Pour préparer au mieux de futurs voyages spatiaux, l'Institut de médecine spatiale de Toulouse recrute 10 volontaires pour rester alités pendant 60 jours! Un peu d'exercice sera tout de même proposé: certains s'adonneront au vélo, d'autres à la centrifugeuse – et ce, toujours à l'horizontale. Rémunération: 18000 €. La rédaction hésite à se sacrifier...



## ET ÇA NOUS FAIT DU BIEN!

### C'était bien tenté

La moitié des élèves d'une classe à l'université de Lyon s'est fait pincer pour triche: ils ont demandé à ChatGPT, une IA productrice de textes, de rédiger un travail à la maison à leur place. Comment ont-ils pu se faire prendre, alors que les contenus de leurs textes étaient différents? Toutes leurs copies présentaient des constructions de phrases identiques: on retiendra donc que ChatGPT a des tics de langage. Un "style"?

## DES BULLES BIEN VALIDÉES

On a enfin la recette ultime pour faire des bulles de savon géantes! Dans de l'eau, ajoutez 4 % de liquide vaisselle, 0,1 % d'un polymère comme la gomme de guar et 10 % de glycérol. Pour la déterminer, scientifiques et artistes ont testé divers mélanges en laboratoire. On n'imagine pas recherche plus joyeuse.

## ET LA PIRE INVENTION EST...

... une IA capable, en écoutant les gens aux WC, de diagnostiquer la diarrhée. Selon ses développeurs, son application dans des toilettes publiques permettrait d'anticiper les épidémies. Ça se tient, mais bof.





# ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

## ET PROFITEZ DE TOUS VOS ACCÈS ET PRIVILÈGES ABONNÉS

12 numéros par an



L'accès illimité au site internet et à l'appli Science & Vie

- ✓ Consultez plus de 12 ans d'archives
- ✓ Retrouvez le magazine et ses hors-séries thématiques en version numérique
- ✓ Plus de 50 contenus exclusifs par semaine
- ✓ SCIENCE&VIE TV le replay et le streaming
- ✓ Inscription gratuite aux événements en visioconférences



© freepik.com, shutterstock.com

**SCIENCE & VIE** LA RÉFÉRENCE

**L'OFFRE 1 AN**  
**65€90** seulement  
 au lieu de ~~107€17\*~~

**BULLETIN D'ABONNEMENT** à retourner sous enveloppe affranchie à : Science et Vie – Abonnements – 59898 Lille cedex 9

1 Je choisis mon offre d'abonnement et mon mode de paiement :

# M030 # D1510262

**L'OFFRE 1 AN** **-38%**  
 1 an (12 numéros) + l'accès au site (dont TV).  
 Je règle une seule fois **65,90€** au lieu de ~~107,17€\*~~. [1]

**L'offre Intégrale :** **-44%**  
 1 an (12 numéros) + 6 hors-série + l'accès au site (dont TV).  
 Je règle une seule fois **79,90€** au lieu de ~~144,73€\*~~. [3]

→ **Pour l'offre 1 an et l'offre Intégrale :**  
 je règle par chèque à l'ordre de Science & Vie et le joins sans agrafe ni scotch.

Je souhaite régler par carte bancaire :  
 je me rends sur **kiosquemag.com**  
 c'est rapide, simple et 100% sécurisé !



**L'offre Liberté sans hors-séries :** **-38%**  
 Je règle par prélèvement **5,50€** par mois au lieu de ~~8,93€\*~~  
 et je reçois **Science & Vie** tous les mois + l'accès au site (dont TV).  
 Résiliable à tout moment sans frais. Après 1 an, je serai prélevé de 6,90€ par mois. [2]

Je complète l'IBAN à l'aide de mon RIB et je n'oublie pas de joindre mon RIB.

IBAN : **F R** \_\_\_\_\_

Vous autorisez Reworld Media Magazines à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Reworld Media Magazines. Créancier : Reworld Media Magazines 40 Avenue Aristide Briand 92220 Bagneux France. Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

Date : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Signature obligatoire : \_\_\_\_\_

▲ Cette offre est disponible **uniquement en joignant votre R.I.B.** (Relevé d'Identité Bancaire) ▲

2 J'indique les coordonnées du bénéficiaire de l'abonnement :

Nom\*\* : \_\_\_\_\_ Prénom\*\* : \_\_\_\_\_

Adresse postale\*\* : \_\_\_\_\_

CP\*\* : \_\_\_\_\_ Ville\*\* : \_\_\_\_\_

Tél. (portable de préférence) : \_\_\_\_\_ (Envoi d'un SMS en cas de problème de livraison)

Email : \_\_\_\_\_

(Pour gérer l'abonnement, accéder aux services numériques et recevoir nos offres promotionnelles. L'adresse e-mail ne sera pas communiquée à des partenaires extérieurs)

Date de naissance : \_\_\_\_\_ (pour fêter votre anniversaire)

\*Le prix de référence à l'année se compose du prix kiosque (58,80€ sans HS, 94,50€ avec HS), des frais de port (6,97€ sans HS, 8,83€ avec HS), du site internet (41,40€).

\*\*À remplir obligatoirement. Offre réservée en France Métropolitaine valable jusqu'au 31/05/2023. DOM-TOM et autres pays nous consulter. Vous disposez, conformément à l'article L 221-18 du code de la consommation, d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnement. Responsable de traitement des données personnelles : Reworld Media Magazines SAS. Finalités du traitement : gestion de la relation client, opérations promotionnelles et de fidélisation. Données postales et téléphoniques susceptibles d'être transmises à nos partenaires. Conformément à la Loi informatique et Libertés du 6-01-78 modifiée, vous pouvez exercer vos droits d'opposition, accès, rectification, effacement, portabilité, limitation à l'utilisation de vos données ou donner vos directives sur le sort de vos données après décès en écrivant à Reworld Media-DPD, c/o service juridique, 40 avenue Aristide Briand 92220 Bagneux, ou par mail à [dpd@reworldmedia.com](mailto:dpd@reworldmedia.com). Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - [www.cnil.fr](http://www.cnil.fr). Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur [kiosquemag.com](http://kiosquemag.com).



## L'inquiétante explosion des dérives sectaires en santé

### 3 CHIFFRES À RETENIR

24%

**C'est la part de dérives sectaires traitées en 2021 qui étaient en rapport avec les médecines douces,** selon le dernier rapport de la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires (Miviludes). Par comparaison, les mouvements religieux représentent 21 %.

66%

**C'est la part des établissements de médecines douces qui ont été contrôlés et rappelés à l'ordre par la répression des fraudes entre 2020 et 2021.** Les motifs : pratique commerciale trompeuse, allégation trompeuse, exercice illégal...

4 000

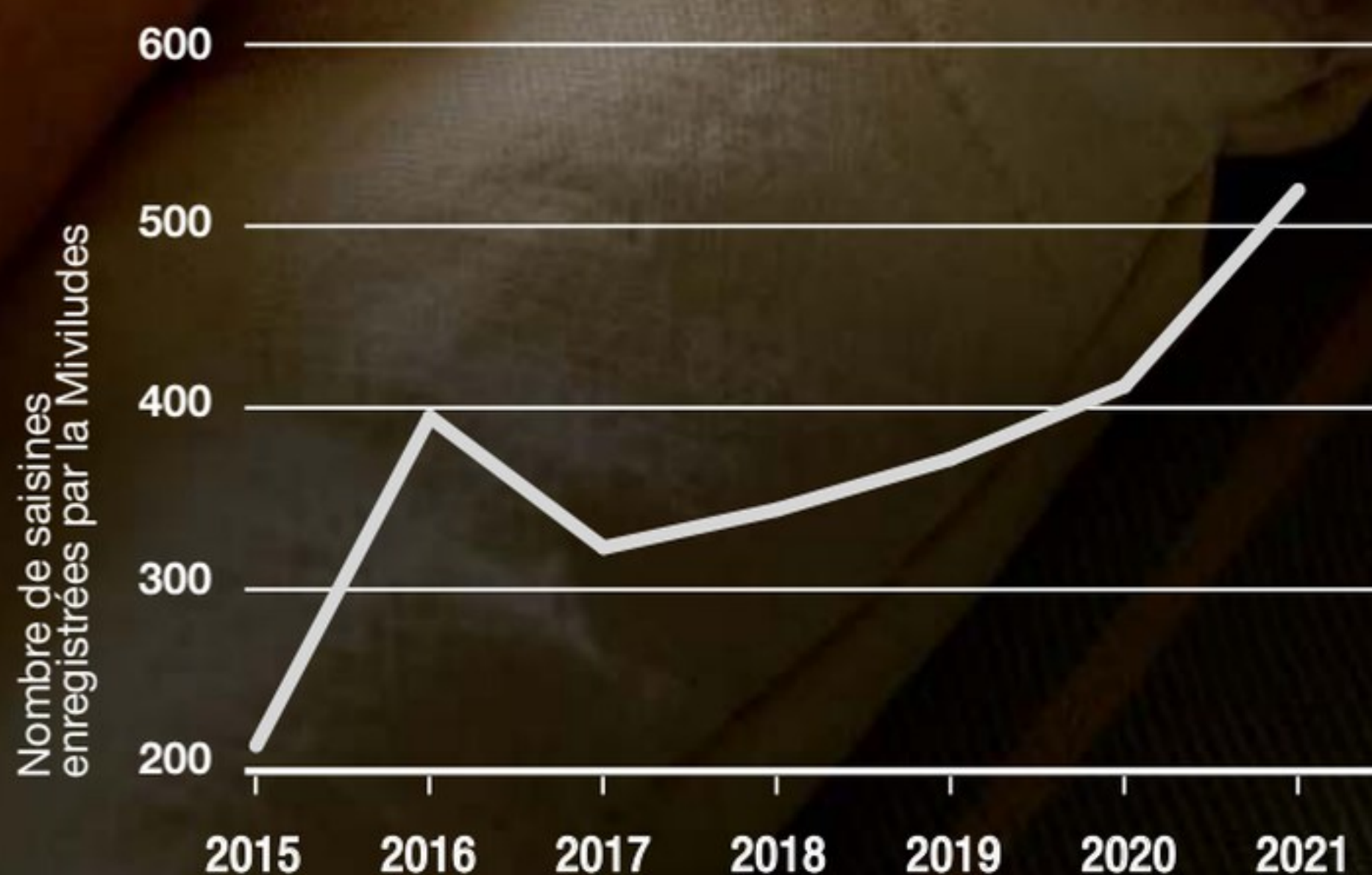
**C'est le nombre de "psychothérapeutes" autoproclamés en France,** exerçant sans formation et inscrits sur aucun registre. On compterait aussi 200 "bio-décodateurs", plus de 800 kinésio-logues, et environ 3 000 médecins en lien avec la mouvance sectaire.

**De plus en plus de personnes se tournent vers des approches de soins dites “douces” en France.** Or ces pratiques sont souvent peu ou pas encadrées : une aubaine pour les charlatans, qui peuvent les utiliser pour exercer une emprise mentale. Comment prévenir les abus ?

PAR **KHEIRA BETTAYEB**



### LES SAISINES LIÉES AUX MÉDECINES “DOUCES” ATTEIGNENT DES RECORDS



SOURCES : MIVILUDES, DGCCRF

# 520

C'est le nombre de signalements de dérives sectaires dans le domaine des médecines douces traités en 2021 par la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires.

**V**oilà une sombre tendance: les gourous se multiplient en France. Ce constat a été dressé par la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires, aussi appelée la Miviludes. Dans un rapport publié en novembre 2022, l'organisme dit avoir reçu 4 020 signalements de dérives sectaires en 2021 – soit une hausse de 33 % par rapport à 2020. Plus troublant encore, dans ces affaires, celles relevant du domaine de la santé sont de plus en plus nombreuses: elles représentent désormais un quart des saisines. *“Ce taux est d'autant plus inquiétant qu'il ne constitue que la partie émergée de l'iceberg, alerte Christian Gravel, président de la Miviludes. Souvent, les victimes de phénomènes sectaires n'ont pas conscience d'être sous emprise, ou ont honte d'avoir été piégées, ce qui peut les dissuader de saisir la Miviludes.”*

Encore faut-il savoir où commence la dérive sectaire. Selon la Miviludes, elle *“se caractérise par la mise en œuvre, par un groupe organisé ou un individu isolé, quelle que soit sa nature ou son activité, de pressions ou techniques ayant pour*

*but de créer, de maintenir ou d'exploiter chez une personne un état de sujétion psychologique ou physique, la privant d'une partie de son libre arbitre.”* Or le domaine de la santé se révèle un terreau fertile pour la mise en place d'une telle emprise. *“Contrairement au phénomène sectaire religieux, où l'on se méfie davantage car il implique un gourou et des adeptes qui l'idolâtrant, dans les soins, l'emprise est moins évidente”,* acquiesce Bruno Falissard, psychiatre et directeur du Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations (Cesp), à Villejuif.

#### **TOUS MENACÉS**

En santé, la dérive sectaire s'insinue dans un cadre plus banal, et débute en général dans un simple cabinet de praticien. *“Elle est favorisée par la relation asymétrique qui existe entre le patient et le ‘soignant’, continue l'expert. Fragilisé par la souffrance ou l'inquiétude liée à sa maladie, le premier accorde sa confiance au second, lequel prend alors sur lui un certain ascendant. Conséquence: n'importe quel pseudo-thérapeute peut en profiter pour exercer une emprise sectaire.”*

Et n'importe qui peut en devenir victime. Ce type de dérives ne touche pas uniquement les personnes

## **La hausse de popularité des médecines “douces”**

**85%**

C'est la proportion de Français qui ont une bonne image de ces pratiques. Elle a augmenté de 5 points entre 2019 et 2021.

**4**

C'est le nombre de médecines non conventionnelles reconnues par l'Ordre des médecins, sur plus de 400 référencées. Il s'agit de l'homéopathie, l'acupuncture, l'ostéopathie et la mésothérapie.

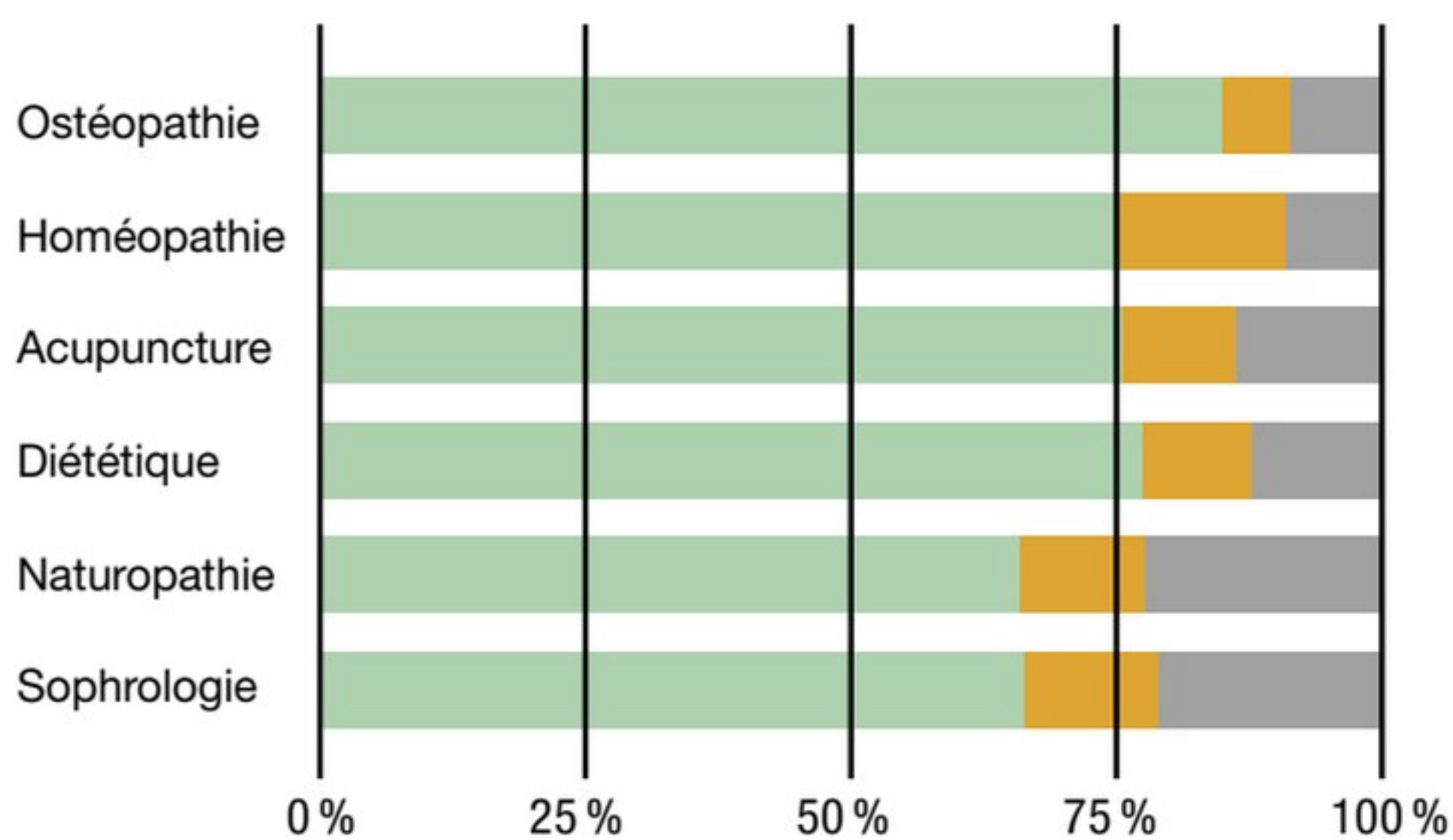
dépressives, en situation de précarité ou les adolescents, comme l'estimaient 76 % des Français dans une enquête publiée par l'institut Odoxa, en 2022. *“Toutes les catégories sociales, tous les âges et tous les territoires peuvent être concernés”,* assure Christian Gravel. *“N'importe qui, fragilisé par une maladie ou désireux de rester en bonne santé, peut être victime d'un pseudo-thérapeute,*

*abonde Bruno Falissard. Beaucoup se raccrochent à la spiritualité, ce qui les amène à se tourner vers des solutions reposant sur des bases magico-spirituelles.”*

Puis la dérive survient: la confiance du patient en son praticien se transforme en emprise, qui le prive de sa capacité de discernement et le pousse à prendre des décisions qu'il n'aurait normalement pas prises.

### L'ostéopathie et l'homéopathie ont la cote

Parmi les plus appréciées, on trouve aussi l'acupuncture et la diététique. En revanche, la chiropraxie et le shiatsu convainquent moins de 50 % de la population.



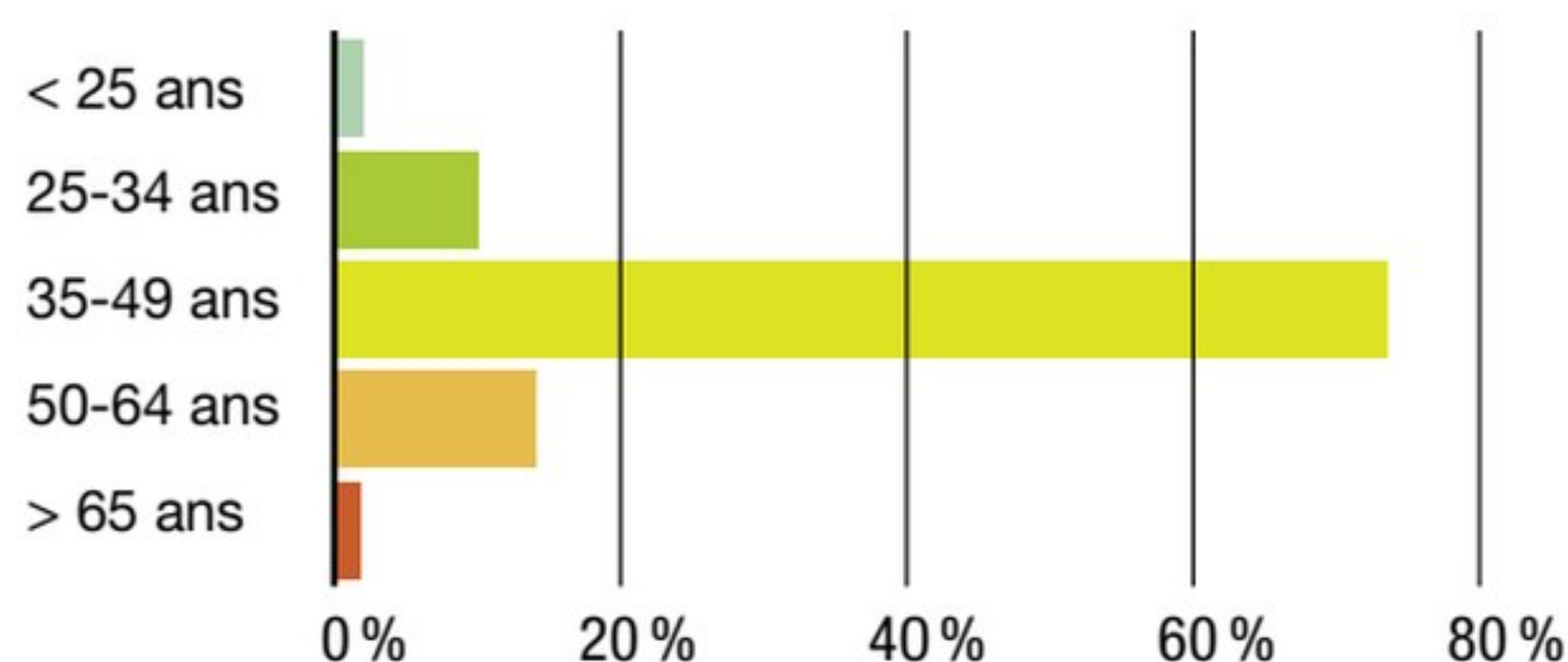
3 patients sur 4 consultent en médecine douce sans la recommandation d'un médecin agréé, donc en dehors du parcours de soins.

# 20%

C'est la part des thérapeutes en exercice qui disent avoir suivi moins de 6 mois de formation.

### Une clientèle active...

Les 35-49 ans représentent la majorité des consultations. Et le suivi est quasi systématique : moins de 10% des patients consultent 1 seule fois ; tandis que pour un tiers, 4 à 9 rendez-vous sont pris.



### ... à la recherche d'un mieux-être

C'est d'abord pour mieux dormir, mieux digérer ou se détendre que les Français décident de consulter un thérapeute en médecine douce.

Résoudre un problème ponctuel

Améliorer son bien-être

Résoudre un problème chronique

“Les dérives sectaires dans le domaine de la santé peuvent entraîner tous les dangers liés aux phénomènes sectaires classiques, touchant à la religion et au développement personnel”, souligne Christian Gravel. On trouve des cas de soustraction d'argent, avec l'achat de produits miracles ou la souscription à des séminaires hors de prix ; des cas d'isolement, de rupture de

contact avec les proches ; mais aussi des cas de violences sexuelles...

### JUSQU'AU DÉCÈS

En santé, cela peut aller encore plus loin. L'emprise amène parfois le patient à “l'abandon de soins éprouvés scientifiquement, au profit de ceux proposés par le pseudo-thérapeute, ce qui peut induire des complications, voire le décès”, continue le pré-

sident de la Miviludes. En 2021, un naturopathe a été condamné à deux ans de prison avec sursis suite au décès de deux de ses “patients” souffrant de cancers. Il leur avait conseillé une alimentation à base de jus de fruits et de légumes, ainsi que des jeûnes sévères et prolongés, alors qu'ils se trouvaient dans des états de fatigue avancés. “Le patient peut aussi mettre en danger la collectivité,

par exemple s'il adhère à un discours anti-vaccins sectaire”, pointe Christian Gravel.

Ce risque de dérives concerne tous les types de soins, et la médecine “conventionnelle” n'y échappe pas. Mais les chiffres de la Miviludes pointent surtout les “pratiques de soins non conventionnelles”, autrement dit les médecines douces, aussi appelées “alternatives”, →

complémentaires, intégratives ou encore naturelles. En 2021, 70 % des saisines touchant à la santé concernaient ce type d'approches. Dans le lot, la naturopathie, l'iridologie, l'hypnose, la sophrologie, le jeûne thérapeutique, etc.

### RÉCENTE AMPLIFICATION

Si ces pratiques sont autant concernées, c'est qu'elles sont *“souvent mal évaluées, voire pas du tout, et ne sont ni réglementées, ni standardisées, explique Bruno Falissard. N'importe qui peut se déclarer thérapeute et proposer des ‘traitements miracles’ non éprouvés. Cela accroît le risque d'emprise.”* Résultat, la Miviludes dénombre dans le pays environ 4 000 “psychothérapeutes” autoproclamés –n'ayant suivi aucune formation et n'étant inscrits sur aucun registre–, près de 200 “bio-décodeurs”, plus de 800 kinésioles et un peu plus de 6 000 naturopathes.

Les médecines douces ont le vent en poupe, et les gourous en puissance l'ont bien compris. *“Le phénomène de dérives sectaires dans les médecines alternatives a été amplifié par deux principaux facteurs, analyse Romy Sauvayre, sociologue des sciences et des croyances à l'université Clermont Auvergne et au Centre national de la*

## La dérive sectaire passe par...

### ... un discours culpabilisant

Certains thérapeutes peuvent exploiter l'éventuel sentiment de culpabilité du patient quant au développement de sa maladie, ses angoisses ou sa recherche de mieux-être. Dans la nouvelle médecine germanique, par exemple, le praticien postule que toute maladie résulte d'un conflit intérieur non résolu. Il existe aussi des psychothérapeutes qui induisent de faux souvenirs d'inceste, provoquant une rupture avec les proches.

### ... un déséquilibre alimentaire

Promettant une longue vie en bonne santé, certains pseudo-thérapeutes prônent le jeûne ou autres régimes très restrictifs, comme le végétalisme, pour prévenir ou guérir les maladies. D'autres, se réclamant de l'instinctothérapie, conseillent de ne consommer que des aliments crus sélectionnés selon leur odeur. *“Ces approches ont connu un réel succès ces dernières années”, alerte la Miviludes.*

recherche scientifique (CNRS). *D'abord, le boom d'internet, qui permet aux gourous 2.0 d'approcher un public jusque-là hors de portée. Via des publicités ou des messages sur les forums et les réseaux sociaux, ils attisent leur méfiance vis-à-vis de la médecine conventionnelle, et propagent leur doctrine. Le second facteur est la crise sanitaire liée au Covid, qui a déstabilisé de nombreuses personnes. Certaines, voyant que la médecine*

*conventionnelle n'avait pas remède à tout, se sont tournées vers les médecines douces.”*

Dernier point amplifiant l'attrait des médecines douces, selon la Miviludes: la pénurie de médecins. *“Confrontés à une maladie ou à une souffrance, des patients vivant dans des déserts médicaux se retournent plus facilement vers des pratiques de soins non conventionnelles”, note Christian Gravel. Résultat, la médecine douce séduit:*

selon une enquête de Harris Interactive menée en 2021, 85 % des Français en ont une bonne ou très bonne image, et 74 % ont déjà consulté un praticien dans ce domaine ou ont l'intention de le faire.

### SAVOIR SE MÉFIER

Alors comment lutter contre ces dérives des médecines douces? D'abord en restant vigilant à l'égard du praticien. *“Il faut se méfier de ceux qui proposent des soins moyennant*

### ... l'ingestion de substances

Des praticiens malveillants peuvent encourager à renoncer aux traitements conventionnels au profit des leurs. Ainsi, la méthode Budwig implique la consommation régulière d'un mélange d'huile essentielle de lin et de lait caillé appelé la crème Budwig, censée aider à combattre le cancer. La cure anticancer de Breuss, elle, impose la consommation de jus de légumes pendant 42 jours.

### ... un contact physique

À des fins préventives ou thérapeutiques, nombre de pseudo-thérapeutes promettent de dénouer des blocages énergétiques. Ils peuvent utiliser la kinésiologie – à distinguer de la kinésithérapie qui, elle, est reconnue officiellement –, qui vise à agir sur la tonicité musculaire. Ou le reiki, une technique d'origine japonaise, dans laquelle le praticien appose ses paumes de mains sur certains points du corps pour faire circuler une "énergie" censée détendre, voire guérir. C'est lorsque le patient devient dépendant de ces méthodes qu'une dérive est à craindre.

se tourner vers les 400 médecines alternatives existantes, mieux vaut choisir celles qui, au moins, ne font pas de mal. Grégory Ninot, codirecteur de l'institut Desbrest d'épidémiologie et de santé publique (Idesp), à Montpellier, conseille de se tourner vers les pratiques ayant déjà fait l'objet d'études cliniques, donc un minimum encadrées.

### LE MOINDRE RISQUE

*"Certes, les preuves d'efficacité de ces approches restent faibles mais, au moins, elles ont bénéficié de premières études rigoureuses visant à évaluer leurs bénéfices et risques, note-t-il. Ce n'est pas le cas des pratiques alternatives et/ou sectaires, comme l'iridologie, qui prétend évaluer l'état de santé d'une personne par l'examen de son iris, ou la sylvothérapie, qui propose de se soigner au contact des arbres."*

Dans son livre intitulé *100 médecines douces validées par la science* (éd. Belin), le chercheur liste plusieurs interventions non médicamenteuses à moindre risque : hypnose, ostéopathie, acupuncture, auriculothérapie, musicothérapie, etc. Le scientifique recommande par ailleurs de *"tester d'abord les soins complémentaires remboursés par sa mutuelle ; car depuis 2011, →*

*une somme importante, et dénigrent les traitements conventionnels, la médecine classique ou le médecin traitant, avertit Bruno Falissard. Il faut aussi faire attention à ceux qui, pour favoriser la guérison, poussent à couper les liens avec le système de santé ou avec les proches."*

De façon générale, tous les experts préviennent : les solutions "miracles" n'existent pas ; mieux vaut se méfier de ceux qui en proposent. L'achat

d'appareils très spécialisés, comme ceux censés capter les "énergies négatives", doit mettre la puce à l'oreille. La Miviludes recommande par ailleurs d'être "attentif à tout changement important de comportement d'un proche, d'en parler autour de soi et auprès d'autres professionnels de santé et, en cas de doute, de ne pas tarder à interroger la Miviludes."

Reste que la simple saisine ne suffira pas. Pour réduire le champ d'action

des nouveaux gourous de la santé, "il faudra standardiser les formations à ces pratiques", reprend Bruno Falissard. Comme le rappelait l'Académie nationale de médecine en 2021, cette mission relève des pouvoirs publics, à qui "il appartient d'assumer pleinement leurs responsabilités d'encadrement des pratiques de soins dans notre pays".

D'évidence, le gouvernement a encore du travail. Dans l'immédiat, pour ceux qui souhaitent

*certaines complémentaires remboursent des pratiques parmi les mieux évaluées (psychothérapie, ostéopathie...)*”.

Reste que nombre de ces pratiques échappent à la recherche et sont encore à évaluer et encadrer. *“Cela aiderait à les intégrer dans les parcours médicaux, et à diminuer le risque que de pseudo-thérapeutes s’en emparent à des fins d’emprise sectaire”*,

recherche médicale, et à un manque de travaux dans les domaines. D’où l’appel, lancé par l’Académie nationale de médecine en 2021, à *“un effort substantiel”* pour évaluer les thérapies complémentaires *“conformément aux règles de l’art”*.

### ÉVALUATION DIFFICILE

Problème : l’exercice est loin d’être aisé. La méthode classique,

patient et ses soignants connaissent le traitement administré. Il faut donc établir un nouveau modèle d’évaluation.

C’est ce à quoi travaille Grégory Ninot, qui a lancé, en octobre 2021, la Société savante des interventions non médicamenteuses. Cette organisation est chargée de faciliter l’intégration de ces approches dans le système de santé. *“Nous*



**BRUNO FALISSARD**  
Psychiatre et directeur du Cesp

***Il faut intégrer ces approches dans les parcours médicaux pour éviter que de pseudo-thérapeutes s’en emparent***

## L’écologie, une autre science à risque

Une nouvelle tendance sectaire liée à la science se développe : elle concerne les éco-villages, qui *“semblent se multiplier aussi bien en France qu’à l’étranger”*, rapporte la Miviludes. Dans ces lieux de vie communautaires et autarciques, les habitants entretiennent un rapport très fort à la nature et à l’agriculture, avec l’espoir de vivre en auto-suffisance. Si un tel mode de vie n’est pas répréhensible ou dangereux en lui-même, il peut toutefois induire des risques, comme *“des situations de déscolarisation pour les enfants, d’épuisement, de dénutrition, d’abus de faiblesse, d’escroquerie, d’abus de confiance, de violences psychologiques voire physiques ou sexuelles”*, alerte la Miviludes.

précise le psychiatre Bruno Falissard.

Dans plusieurs rapports publiés depuis 2010, l’Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) a analysé les études disponibles sur l’efficacité et la sécurité de nombre de médecines douces : ostéopathie, acupuncture, auriculothérapie, jeûne, hypnose, sophrologie... Ces documents concluaient souvent à un faible niveau de preuves selon les critères de la

permettant l’évaluation rigoureuse d’un traitement, s’applique rarement aux médecines douces. L’essai clinique randomisé en double aveugle, où ni participants ni chercheurs ne savent qui a reçu le médicament et qui un placebo, se révèle impossible à mettre en place.

Et pour cause : les médecines douces nécessitent souvent une intervention visible (action du thérapeute, modification de l’alimentation...). Le

*tentons de faire reconnaître un modèle unique de validation et de surveillance des interventions non médicamenteuses*, indique le chercheur. *Nous avons présenté ce modèle aux autorités sanitaires, dont la Haute Autorité de santé. Reste à discuter de sa possible adoption avec tous les acteurs concernés : représentants des ministres de la Santé et de la Prévention, des Sports, de l’Assurance maladie, des sociétés savantes (Acadé-*

*mie nationale de médecine, agence Anses), des praticiens (ostéopathes, naturopathes...) et des patients (associations). Nous espérons le réaliser en mars 2023, lors d’un congrès à Montpellier.”*

### MARCHÉ EN CROISSANCE

Cette intégration dans le système de santé est urgente. Car les médecines douces, avec les dérives sectaires qui en découlent, ont de beaux jours devant elles. *“Les marchés du bien-être, du tourisme santé, de la santé mentale, des maladies chroniques, du bien vieillir et de la prévention sont croissants, donc le nombre d’offres dans ce domaine va grandir”*, prévient Grégory Ninot. Celui des dérives sectaires suivra inexorablement. À nous de rester vigilants.



# SCIENCE & VIE

VOUS PRÉSENTE

# SON NOUVEAU JEU

— LA BOUTIQUE —

# GRAND QUIZ

## SCIENCE & VIE

**AMUSEZ-VOUS,  
INSTRUISEZ-VOUS  
ET METTEZ VOS  
CONNAISSANCES  
À L'ÉPREUVE**



Ciel  
& Espace



Science  
& Culture



Corps  
& Santé



Nature  
& Environnement



Cerveau  
& Intelligence



Technologie  
& Futur



600  
QUESTIONS  
de la VIE

600  
RÉPONSES  
de la SCIENCE

6  
CARTES-  
RUBRIQUES

1  
BOÎTE  
DE JEU

LE JEU  
GRAND QUIZ  
**SCIENCE & VIE**  
**19€<sup>90</sup>**  
seulement



Science & Vie, une marque de Reword Media  
Adapté : M. L. B.

Réviser vos fondamentaux et laissez-vous surprendre avec ce grand quiz Science & Vie. **Les 600 questions qui composent ce jeu sont les vôtres**, ou plutôt celles que les lecteurs ont adressé au magazine Science & Vie. **Les 600 réponses, nous les devons à la science qui tente inlassablement de révéler les mystères du monde**, de ses plus petites manifestations à ses plus grands spectacles. Ce grand jeu comporte 100 fiches et 6 rubriques, portant sur les différentes thématiques du magazine. Amusez-vous !

À partir de 2 joueurs pour les 7 ans et plus ! Jeu de société Science & Vie. Dim. : 26,7 x 26,7 x 6,3 cm. Poids 1,1 kg. Contenu : 1 plateau de jeu, 300 cartes de questions / réponses, 1 boîtier à cartes, 1 dé, 6 camemberts, 36 triangles de couleur, règle du jeu.

En vente [www.kiosquemag.com/boutique](http://www.kiosquemag.com/boutique) **ou** par téléphone **01 46 48 48 03** **ou** en renvoyant le bon de commande ci-dessous avec votre règlement par chèque, le tout dans une enveloppe affranchie.

**BON DE COMMANDE À RETOURNER SOUS ENVELOPPE AFFRANCHIE À : La Boutique Science & Vie - 59898 Lille Cedex 9**

OUI, JE COMMANDE	Réf.	Qté	Prix	Total
Boîte de jeu "Le Grand Quiz Science & Vie"	424.416	x	19,90 €	€
ENVOI COLIECO. Livraison 10 jours après enregistrement de ma commande.				+ 6,90 €
<b>MONTANT TOTAL DE MA COMMANDE</b>				€

Je règle par chèque joint à l'ordre de la boutique Science & Vie.



Vous souhaitez régler par carte bancaire ?  
Rendez-vous sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com),  
c'est rapide, simple et 100% sécurisé !

**Mes coordonnées** (\*à remplir obligatoirement)

# M091 # V1482876

Nom\* :

Prénom\* :

Adresse\* :

Code Postal\* :

Ville\* :

Grâce à votre email et votre n° de téléphone et nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande. Votre adresse email ne sera pas communiquée à des partenaires extérieurs à des fins commerciales.

E-mail :

Votre numéro de téléphone (portable de préférence)

Date de naissance (pour souhaiter votre anniversaire)

Offre valable en France Métropolitaine jusqu'au 30/04/2023. Livraison dans un délai moyen d'une semaine et 3 semaines au plus tard après enregistrement de ma commande. Conformément à l'article L.221-18 du code de la consommation, vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception de votre commande et vous pouvez nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Les frais d'envoi et de retour restent à votre charge. Responsable de traitement des données personnelles : Reword Media Magazines SAS. Finalités du traitement : gestion de la relation client, opérations promotionnelles et de fidélisation. Données postales et téléphoniques susceptibles d'être transmises à nos partenaires. Conformément à la Loi informatique et Libertés du 6-01-78 modifiée, vous pouvez exercer vos droits d'opposition, accès, rectification, effacement, portabilité, limitation à l'utilisation de vos données ou donner vos directives sur le sort de vos données après décès en écrivant à Reword Media-DPD, c/o service juridique, 40 Avenue Aristide-Briand 92220 Bagneux, ou par mail à [dpd@rewordmedia.com](mailto:dpd@rewordmedia.com). Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - [www.cnil.fr](http://www.cnil.fr). Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur [kiosquemag.com](http://kiosquemag.com).



# Les lacs s'étendent partout dans le monde

## Groenland

Celui où les lacs progressent le plus

Dans les régions polaires, la fonte de la calotte glaciaire et du permafrost – sol censé être perpétuellement gelé – alimente de nombreux petits lacs. Un phénomène accentué par un réchauffement 3 à 4 fois plus rapide que dans le reste du monde. Ici, en 20 ans, la calotte glaciaire a perdu environ 4 700 gigatonnes selon Polar Portal, un site d'instituts de recherche danois.

## États-Unis

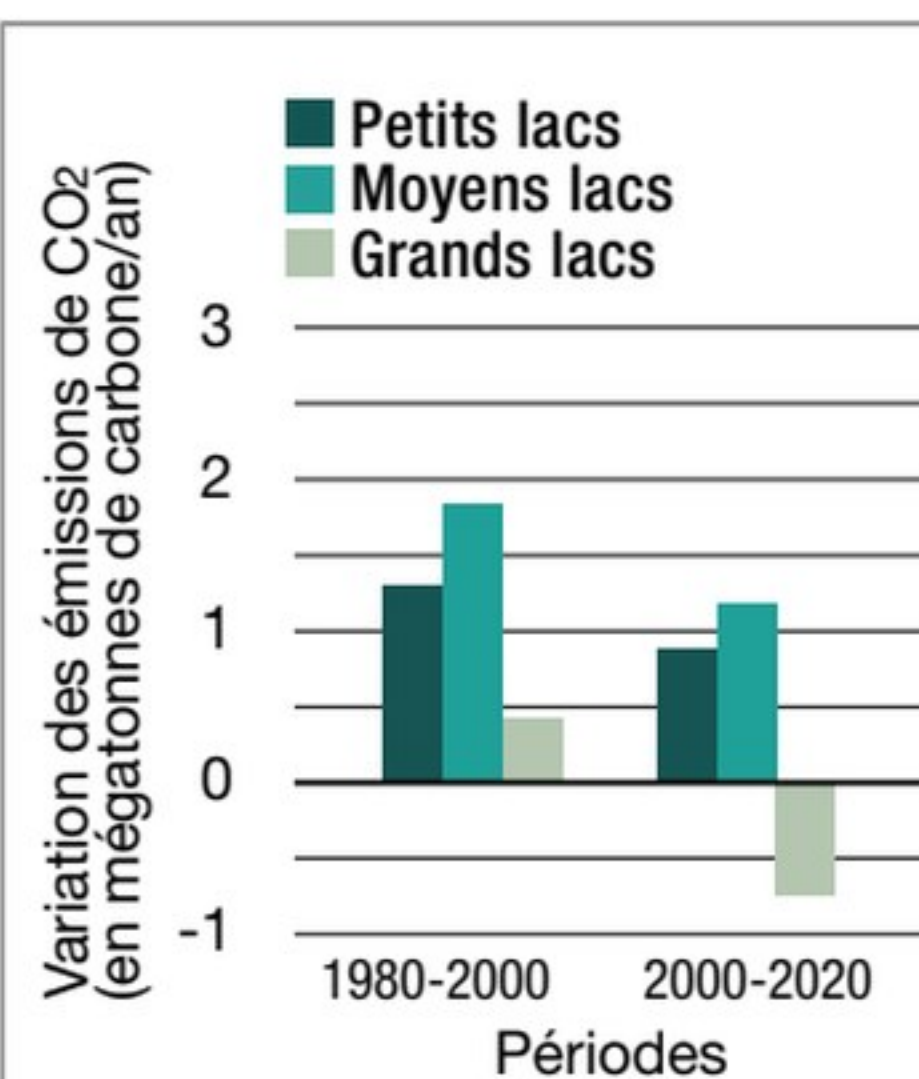
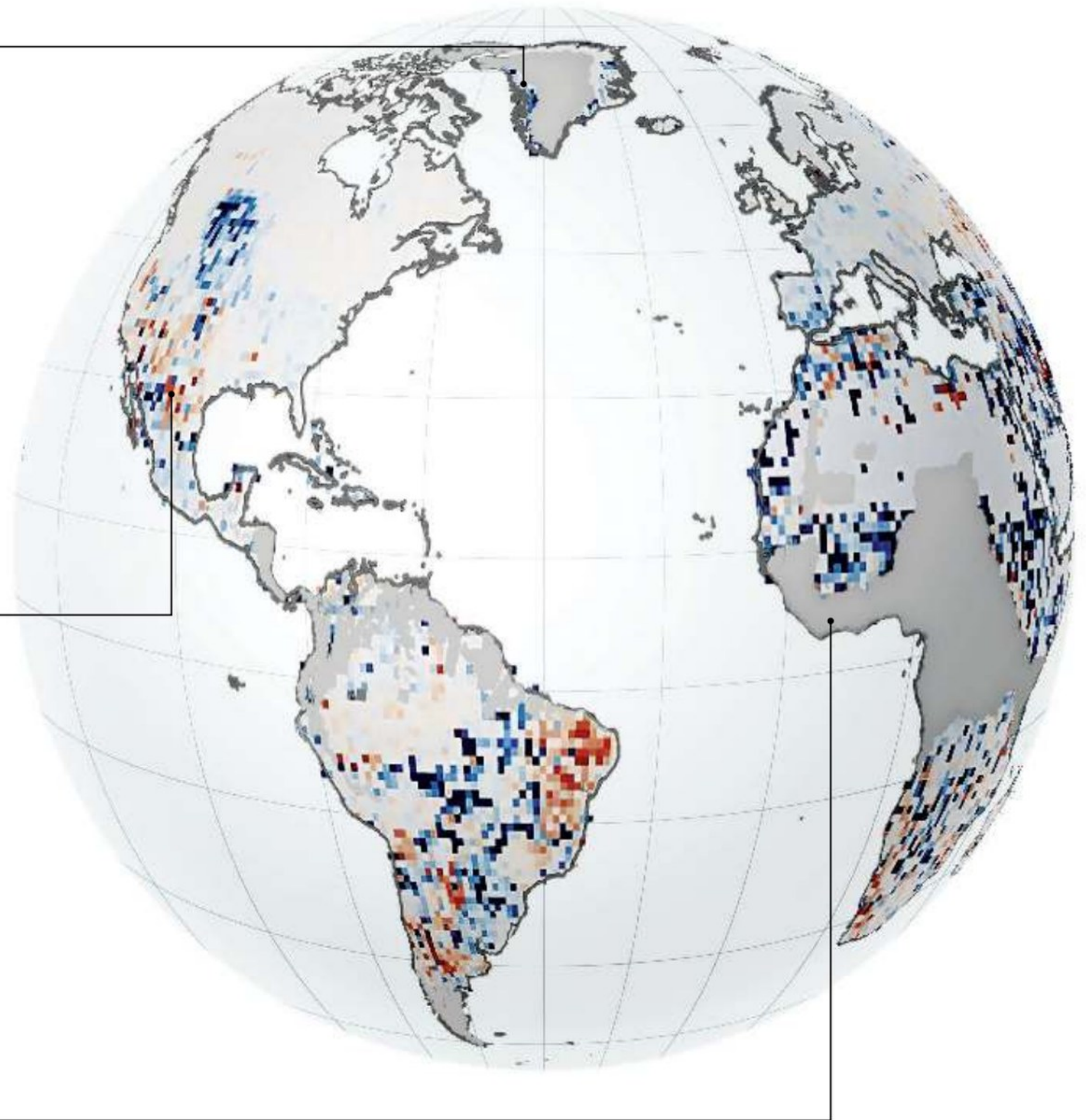
Celui donc les lacs s'assèchent

À rebours de la tendance globale, certains lacs rapetissent, comme à l'ouest et au sud des États-Unis. Cela s'explique par des sécheresses, mais aussi des prélèvements d'eau pour l'agriculture. En 2022, la baisse record du niveau des deux plus grands lacs de barrage du pays – Mead et Powell – a entraîné des pénuries d'eau et d'électricité.

## Ghana

Celui qui accueille le plus grand réservoir

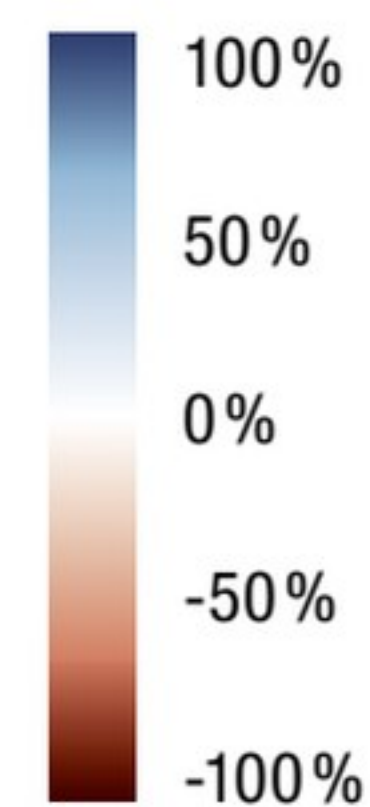
Plus de la moitié de la croissance des lacs du monde est imputable aux barrages. Avec ses 8 502 km<sup>2</sup>, le lac Volta, sur le fleuve éponyme, au Ghana, constitue le plus vaste réservoir d'eau douce artificiel au monde. Ses eaux sont utilisées pour l'irrigation et la pêche. Au sud, le barrage d'Akosombo produit, lui, une grande partie de l'électricité du pays.



## Les lacs rejettent davantage de CO<sub>2</sub>

La dégradation des matières organiques dans les lacs libère du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. La multiplication des petits plans d'eau a donc causé une hausse globale des émissions, et cela bien que les grands lacs, ayant rétréci, en émettent moins.

VARIATION DE LA SUPERFICIE DES LACS (entre 2000 et 2020)



● Données insuffisantes

SOURCE : NATURE

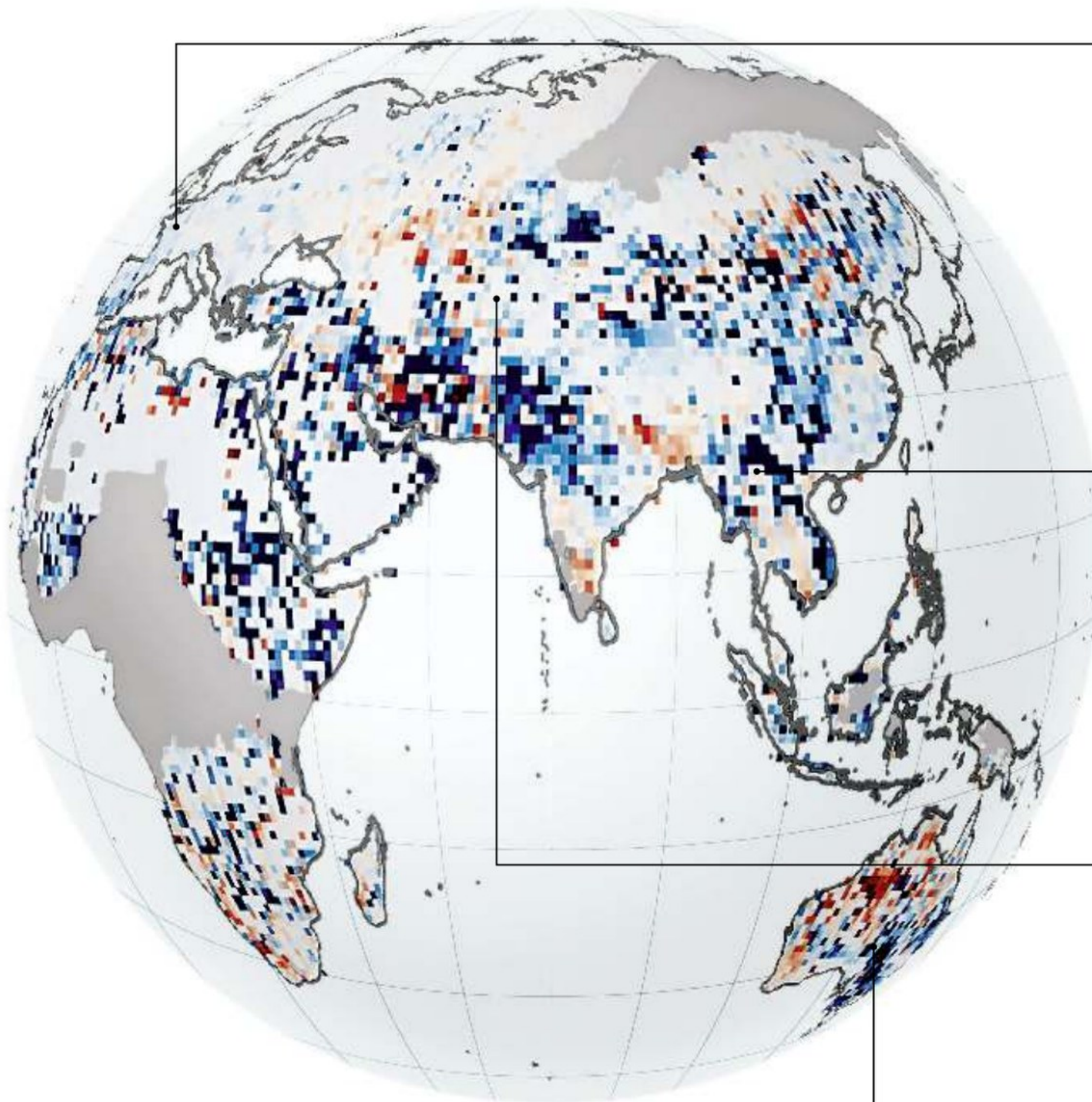
ANYFORMS DESIGN - M. KONTEENTE

## Au cours des quarante dernières années, les lacs ont globalement gagné en superficie, en particulier les petits. C'est ce que révèle

une équipe internationale après avoir analysé des données satellite et cartographié plus de 3,4 millions de lacs et réservoirs de plus de 3 ha.

Les raisons : la fonte des glaces et la construction de barrages.

PAR ANNE DEBROISE



### France

Celle qui a misé sur les barrages

Grâce à ses montagnes, le pays compte plus de 25 000 plans d'eau, couvrant 352 000 ha en Métropole. Il y a des lacs naturels, mais aussi de nombreux réservoirs destinés à l'irrigation, aux loisirs ou à la production hydroélectrique. Un équipement devenu essentiel face au changement climatique.

### Chine

Celle qui recueille l'eau de l'Himalaya

En 8 ans, la masse de glace sur le plateau tibétain a perdu 340 gigatonnes. La fonte vient alimenter en eau les rivières et les lacs chinois des bassins du fleuve Jaune et du Yangtze. Ce sont les petites étendues d'eau, entre 50 et 150 ha, qui se sont le plus agrandies.

### Kazakhstan

Celui qui longe les deux géants salés

Le pays borde les deux plus vastes lacs d'eau salée : la mer Caspienne et la mer d'Aral. Cette dernière, victime de détournement de ses eaux pour l'irrigation, connaît depuis 1960 une régression spectaculaire : elle a perdu 75 % de sa surface et 90 % de son volume.

### Australie

Celle qui récupère de la sécheresse

Depuis 1980, la moitié des lacs du monde ont connu des épisodes d'extension et de régression. C'est le cas au sud-est du pays : après une forte baisse du niveau des retenues d'eau lors de la sécheresse des années 2000, la dernière décennie les a vues récupérer du terrain. Ce même phénomène s'observe au nord-ouest de l'Inde.

**3,2**  
millions

C'est, en km<sup>2</sup>, la surface maximale de la planète que l'on estime recouverte par les lacs. Soit 2,2 % de la surface globale. Avec 371 000 km<sup>2</sup>, la mer Caspienne détient le record du plus grand lac.

46 278

C'est le gain de superficie des lacs du monde, en km<sup>2</sup>, entre 1984 et 2019. Cet accroissement est dû, à 56 %, à l'expansion des barrages, et le reste à la fonte des glaciers et du permafrost.

# L'étrange affaire... des baleines qui chantent de plus en plus grave



## Rappel des faits

La fréquence du chant des baleines ne cesse de baisser depuis que l'on a commencé à la mesurer, dans les années 60. Et les scientifiques n'arrivent toujours pas à l'expliquer.

En quelques décennies, les baleines mâles sont passées de ténor à baryton. Une curiosité relevée à la fin des années 2000 chez les baleines bleues du nord-est du Pacifique: en 40 ans, la fréquence moyenne de leur chant était passée de 22 Hz à 15 Hz. L'anomalie a, depuis, été confirmée pour d'autres espèces: baleine à bosse, rorqual commun, rorqual d'Omura, baleine bleue pygmée... Et ce, partout dans le monde.

Bien que le phénomène n'inquiète pas les scientifiques, il les laisse tout de même perplexes. Certains avancent l'hypothèse qu'il est la conséquence d'une pollution sonore grandissante: les baleines chanteraient

plus grave afin de mieux se faire entendre. Sauf que les relevés acoustiques indiquent que dans l'océan Indien austral, à l'inverse de l'hémisphère Nord, la pollution sonore a tendance à s'estomper. Or, la fréquence du chant des baleines y baisse éga-



^ Le phénomène s'observe dans les océans du monde entier.

lement. "De toute manière, si elles s'égosillaient pour compenser cette pollution, on s'attendrait plutôt à ce que leurs cris soient plus aigus", observe Jean-Yves Royer, de l'université de

Bretagne occidentale. L'acidification des océans, alors? Elle favorise la propagation des ondes acoustiques à basses fréquences. "Mais cet effet est infime, tempère Alexander Gavrilov, de l'université Curtin (Australie). Je ne vois pas comment

elle pourrait affecter le comportement de grands mammifères marins."

Des recherches menées en 2022 sur les baleines bleues californiennes avancent une troisième hypothèse, qui fait davantage

consensus: le rebond démographique. Après avoir été décimées à 99%, les baleines ont été classées "espèce protégée" dans les années 1960. Depuis, leurs populations ne cessent de croître et donc de se rapprocher. Les mâles n'auraient plus besoin de crier aussi fort pour se faire entendre des femelles et intimider les rivaux.

## POUR SE DÉMARQUER

Mais Ally Rice, de l'université de Californie (États-Unis), n'est pas convaincue: "Certaines espèces ont reconstitué leurs effectifs très rapidement, tandis que d'autres sont bien plus lentes. Or la baisse de fréquence est à peu près identique pour toutes les espèces."

## En bref



3

C'est, en années, le vieillissement qu'aurait subi le cerveau de certains adolescents suite aux confinements dus au Covid-19, selon une étude menée aux États-Unis. Le stress provoqué aurait accéléré certains processus physiques, comme un amincissement du cortex et une augmentation de l'amygdale.

2066

C'est l'année où le trou de la couche d'ozone sera entièrement résorbé au-dessus de l'Antarctique, d'après une nouvelle étude de l'ONU. Les chercheurs estiment que la couche sera reformée en Arctique en 2045, et ailleurs dans le monde en 2040. Cela permettrait d'éviter un réchauffement supplémentaire d'environ 0,5°C d'ici à 2100.

Et si les baleines chantaient plus grave... délibérément? "Le besoin de se démarquer pourrait pousser certains mâles à chanter plus grave que leurs congénères et imposer de nouvelles normes", estime Robert McCauley, de l'université Curtin. "Sauf que si le changement était d'ordre culturel, il serait plus progressif au sein d'une même population", conteste Emmanuelle Leroy, de l'université de Bretagne occidentale.

La baisse de la fréquence ne pouvant pas continuer indéfiniment pour des raisons physiologiques, elle devrait atteindre un palier d'ici quelques années. Les scientifiques espèrent que la réaction des baleines leur fournira alors des indices sur la nature environnementale, ou comportementale, de ce surprenant changement de tessiture. **Benoît Rey**



## Non, la bière ne protège pas de la maladie d'Alzheimer

L'affirmation paraît d'emblée fumeuse. C'est pourtant ce que de nombreux médias ont titré, après avoir eu connaissance d'une étude publiée fin 2022 par une équipe du Centre de neurosciences de Milan, en Italie. Les chercheurs ont observé que des cellules nerveuses cultivées en présence d'extraits de houblon – une plante utilisée en brasserie –, développent moins de plaques amyloïdes – des agrégats de protéines typiques de la maladie d'Alzheimer. Et que des larves de vers nourries de ces extraits sont moins affectées par la paralysie qui les prend quand leurs muscles fabriquent de tels amas. Résultat: la bière protégerait d'Alzheimer! Sauf que "c'est un raccourci entre

le résultat présenté et la conclusion", estime Luc Letenneur, épidémiologiste à l'Inserm. En effet, entre des populations de cellules, des muscles de vers, et un cerveau humain, il y a un monde. Déjà, rien ne dit que les composants du houblon parviennent jusqu'aux neurones: tout ce qui est ingéré est dégradé par le microbiote intestinal, filtré par le foie puis par la barrière hémato-encéphalique qui protège le cerveau. Enfin, jusqu'à présent, les rares études qui ont tenté d'observer un lien statistique entre la bière et la maladie d'Alzheimer n'ont montré qu'une chose: une consommation importante, au contraire, accélère le déclin cognitif. On s'en doutait un peu... **Anne Debroise**

SHUTTERSTOCK - ILLUSTRATION TONWEN JONES/COLAGENE  
L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ.



6

C'est le nombre d'États autorisant le compostage humain aux États-Unis, jugeant cette mort plus écologique. Celui de New York l'a récemment légalisé: on peut désormais y demander à être transformé en terre après le décès, afin d'être utilisé comme engrais. En Europe, seule la Suède autorise ce procédé.



1 156

C'est la moyenne des vols quotidiens (décollages et atterrissages) enregistrés à l'aéroport d'Istanbul, le plus fréquenté d'Europe devant Amsterdam (1 140) et Paris (1 122). L'aéroport d'Hartsfield-Jackson d'Atlanta, aux États-Unis, détient le record mondial, avec plus de 2 000 vols par jour.

# Le jour où la comète ZTF a fait son dernier passage

## 1 | **Suivie depuis près d'un an...**

C'est le 2 mars 2022 que cette comète a été repérée pour la première fois, grâce au télescope Samuel-Oschin, de l'Observatoire Palomar, en Californie. Située alors à environ 644 millions de km de notre planète, elle venait de dépasser l'orbite de Jupiter et avançait dans notre direction.

## 2 | **... elle nous a éblouis fin janvier**

Le 1<sup>er</sup> février, ZTF s'est enfin approchée jusqu'à 42 millions de km de la Terre, et cela dans la partie du ciel opposée au Soleil, ce qui l'a rendue d'autant plus visible ! On pouvait la percevoir à l'œil nu depuis l'hémisphère Nord, dans de bonnes conditions. Quand il s'agit d'observer des comètes, un tel concours de circonstances ne se présente qu'une ou deux fois par décennie.

**Comme son nom complet l'indique, C/2022 E3 ZTF a été repérée en mars 2022.** Cette belle comète brillante est passée au plus près de la Terre le 1<sup>er</sup> février 2023, et pouvait alors être observée aux jumelles. Lors de son précédent passage, elle avait probablement impressionné... nos cousins néandertaliens!

PAR ANNE DEBROISE

### 3 | **Son cœur de glace a fondu**

C/2022 E3 ZTF est constituée d'un cœur solide, un mélange de glace et de roche, dont le diamètre se compte en quelques kilomètres. Au cours de son voyage, sous l'effet du rayonnement solaire, ce cœur s'est en partie vaporisé. L'ampleur de cette "sublimation" a même été évaluée par Nicolas Biver, astrophysicien à l'Observatoire de Paris : *"Nous avons mesuré que la comète perdait 3 tonnes de glace par seconde."*

### 4 | **Sa chevelure s'est allumée**

La matière sublimée a formé la chevelure, cette auréole autour du noyau rendue légèrement verdâtre par la présence de molécules de dicarbone. Le gaz qui la compose, ionisé par le rayonnement ultraviolet du Soleil et entraîné par le vent solaire, s'est éloigné en formant une queue torsadée. Et les poussières, poussées par le vent solaire, en ont formé une deuxième.

### 5 | **Elle a illuminé le ciel une dernière fois avant de s'en aller**

Le calcul de sa trajectoire – une orbite très inclinée par rapport au plan du Système solaire – indique que ZTF est déjà passée à proximité de la Terre il y a 50 000 ans. À l'époque, notre espèce

cohabitait avec les Néandertaliens. Mais cette fois, la comète a été tellement accélérée en frôlant divers corps du Système solaire qu'elle va probablement en sortir définitivement. Salut, l'artiste!

# Les sports d'hiver sont-ils voués à disparaître ?

**A** lors que la neige manque dans les stations alpines, les Jeux asiatiques d'hiver 2029 ont été attribués à l'Arabie saoudite... Le monde du sport d'hiver ne s'en émeut pas. Pourtant, le réchauffement climatique se fait de plus en plus menaçant : d'après une étude de 2019, aucune station française n'ouvrira de pistes sans neige de culture au-delà de 2050. Pire : en 2100, la neige artificielle ne suffira plus, et seules 24 des 232 stations actuelles seront encore skiabiles. Alors, quel avenir pour les sports d'hiver ? Une réinvention des stations est-elle possible sans or blanc ?



**MAGALI REGHEZZA-ZITT**  
Maître de conférences au département  
Géographie & Territoires de l'ENS



## **Science & Vie :** **Les sports d'hiver pourraient-ils disparaître d'un jour à l'autre ?**

**Jean-Luc Boch :** Non ! Ces dernières années, nous notons une vraie motivation des Français pour la montagne. Avec la crise liée au Covid-19, l'affluence en station a chuté, mais elle est revenue à son niveau d'antan : 69 % des lits étaient occupés à la saison hivernale 2021-2022. Et les restrictions sanitaires ont eu au moins un impact positif : l'arrivée d'une nouvelle clientèle de proximité. Cela étant, le réchauffement climatique a des effets

indéniables : moins de neige, notamment en basse altitude. **Magali Reghezza-Zitt :** Le principal problème concerne l'enneigement qui, quelle que soit l'altitude, diminue d'année en année. En parallèle, produire de la neige en culture se révèle de plus en plus compliqué. Parce que ce processus est énergivore et devient plus coûteux avec l'augmentation du prix de l'énergie

et l'inflation. Et parce que l'eau, matière première de la neige artificielle, se fait de plus en plus rare.

## **S&V : Comment les stations peuvent-elles s'adapter ?**

**J.-L.B. :** Pour le moment, notre modèle reste basé sur le ski alpin : 83 % de nos visiteurs d'hiver le pratiquent. On ne peut le remplacer du jour au lendemain. Et il est loin d'être mort : on skiera

encore dans quarante ans – mais pas partout. Les stations les plus basses doivent être adaptées. En été ou lorsque la neige manque, on y propose de nombreuses activités : randonnée en raquettes ou à pied, VTT, cure de remise en forme... Les infrastructures existent déjà !

**M.R.-Z :** Toute solution qui maintient un *statu quo* est vouée à l'échec. Le changement doit être structurel, pas cosmétique. En 2022, mieux vaudrait investir dans l'isolation de bâtiments et de nouveaux usages de la montagne que dans des canons à

*“L'adaptation doit se faire territoire par territoire, en fonction des ressources locales et des diagnostics de vulnérabilité”*

MAGALI **REGHEZZA-ZITT**



**Au point mort durant toute la pandémie, les stations de sports d'hiver peuvent à nouveau accueillir des touristes.** Mais avec la hausse des températures, la neige n'est pas toujours au rendez-vous... Bien que les Français se montrent toujours motivés par la montagne, on se demande si l'on n'est pas en train d'assister au chant du cygne.

PAR VALENTIN FAIVRE



**JEAN-LUC BOCH**

Maire de La Plagne-Tarentaise (Savoie), président de l'Association nationale des maires des stations de montagne

neige. L'adaptation doit se faire territoire par territoire, en fonction des ressources locales et des diagnostics de vulnérabilité. Ainsi, elle pourra limiter le choc économique et social du réchauffement climatique, créer des emplois pérennes, améliorer la santé, et augmenter le pouvoir d'achat des habitants.

**S&V: Quels changements pourraient permettre la transition ?**

**J.-L.B. :** En montagne, l'immobilier de loisirs est vieillissant et nécessite une vraie réhabilitation. Cela suppose des

*“Pour réhabiliter l'immobilier de loisirs en montagne, il faut que l'État soutienne la transition par plus de subventions”*

JEAN-LUC **BOCH**

dépenses colossales, que nous ne pouvons pas prendre en charge seuls. L'État, qui a fait le choix d'une France touristique plutôt qu'industrielle, pourrait soutenir la transition avec des subventions plus importantes. Les 8 millions d'euros de pertes liés aux restrictions sanitaires n'ont été compensés qu'à hauteur de 600 000 €.

**M.R.-Z :** Le discours commercial doit évoluer. Les déplacements touristiques sont fortement

influencés par la publicité et le marketing. Ce sont elles qui ont donné à la neige son statut “d'or blanc” ! Il se joue aussi une question sociale : les sports d'hiver sont jusqu'ici réservés à des catégories aisées de la population, qui sont généralement celles qui émettent le plus de gaz à effets de serre. Or, à court et moyen termes, il faudra tenir compte de l'évolution des aspirations des touristes : les vacances “bas

carbone” vont devenir un critère d'attractivité pour une certaine clientèle.

**S&V: Les délais de ces changements sont-ils serrés ?**

**M.R.-Z :** Les analyses de risques indiquent qu'ils doivent être les plus courts possible, car les effets du réchauffement sont déjà visibles. Certains cherchent la rentabilité à court terme, au risque de fabriquer les “actifs échoués” de demain, c'est-à-dire des investissements ou équipements qui n'auront plus aucune valeur. Mais d'autres territoires sont précurseurs, avec des résultats spectaculaires.

**J.-L.B. :** On commence déjà à s'adapter, notamment face aux précipitations qui deviennent intenses et imprévisibles en montagne. Nous choisissons de stocker l'eau pour la répartir entre l'agriculture et la neige de culture. Désormais, 74 % de nos clients jugent que le critère environnemental est un élément important à prendre en compte dans le choix d'un séjour en montagne. Nous évoluons donc au plus vite dans ce sens.

# Les clés pour comprendre les pénuries de médicaments

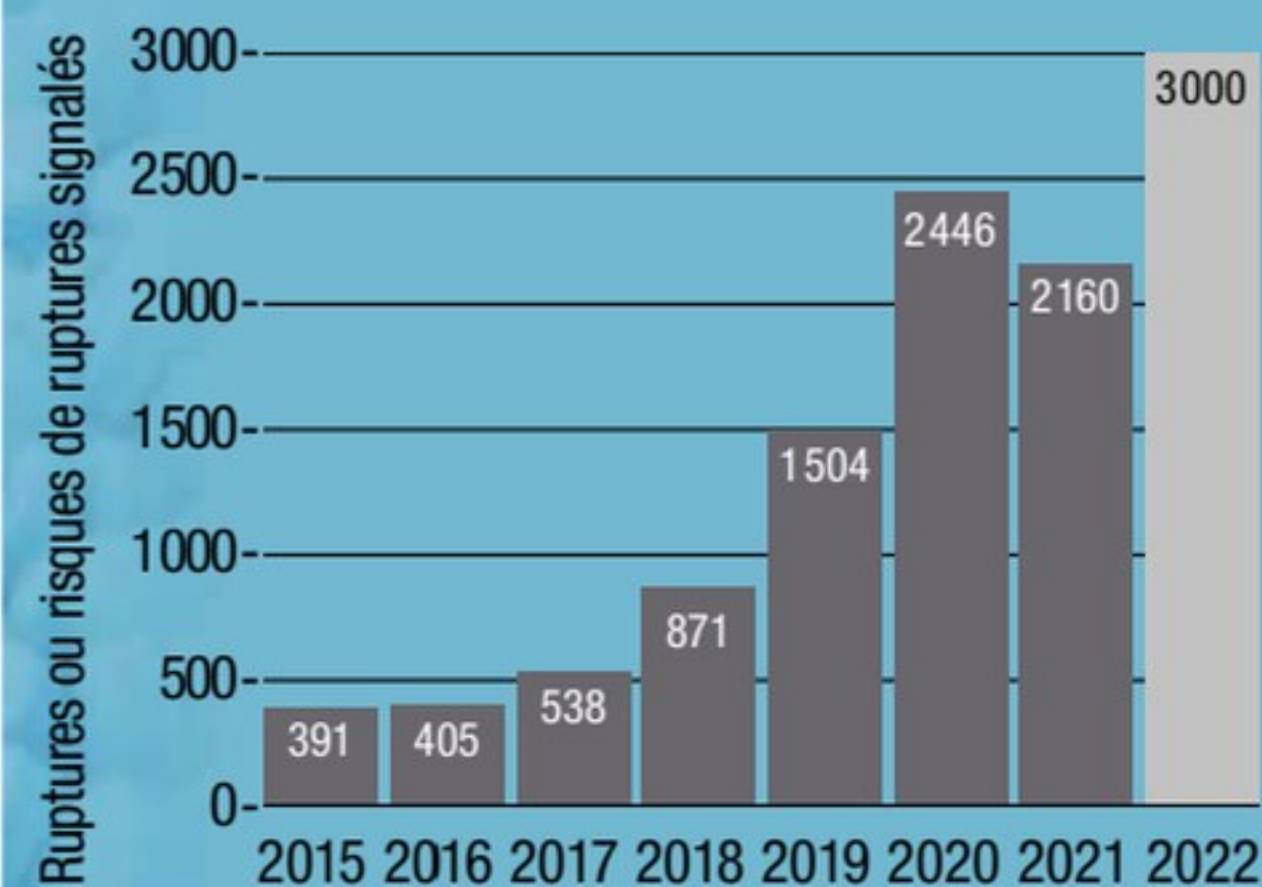
**Le phénomène inquiète de plus en plus:** depuis plusieurs mois, de nombreux médicaments, dont certains utilisés couramment, connaissent de fortes difficultés d'approvisionnement. Pour quelles raisons ? Et quels sont les risques ? Réponses en 5 points.

PAR **KHEIRA BETTAYEB**



## 1 La pénurie ne cesse de s'intensifier...

Les ruptures d'approvisionnement des pharmacies et hôpitaux en France ont explosé en 2022. Elles concernaient 12,5 % des médicaments à la mi-août 2022 : 2 fois plus qu'en janvier 2022.



## 3 Les traitements les plus concernés agissent sur :

**27,9 %**  
le système cardio-vasculaire

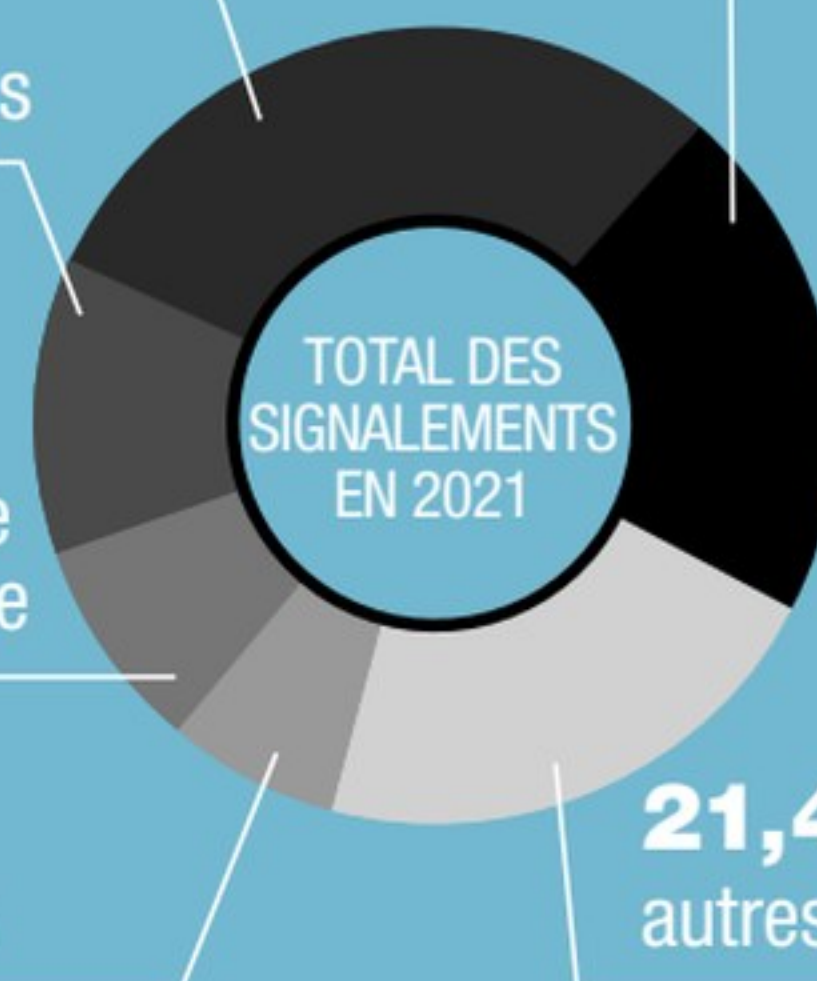
**20,7 %**  
le système nerveux

**13,7 %**  
les infections

**9,5 %**  
le système digestif et le métabolisme

**6,8 %**  
les cancers

**21,4 %**  
autres



SHUTTERSTOCK - MIKO KONTE

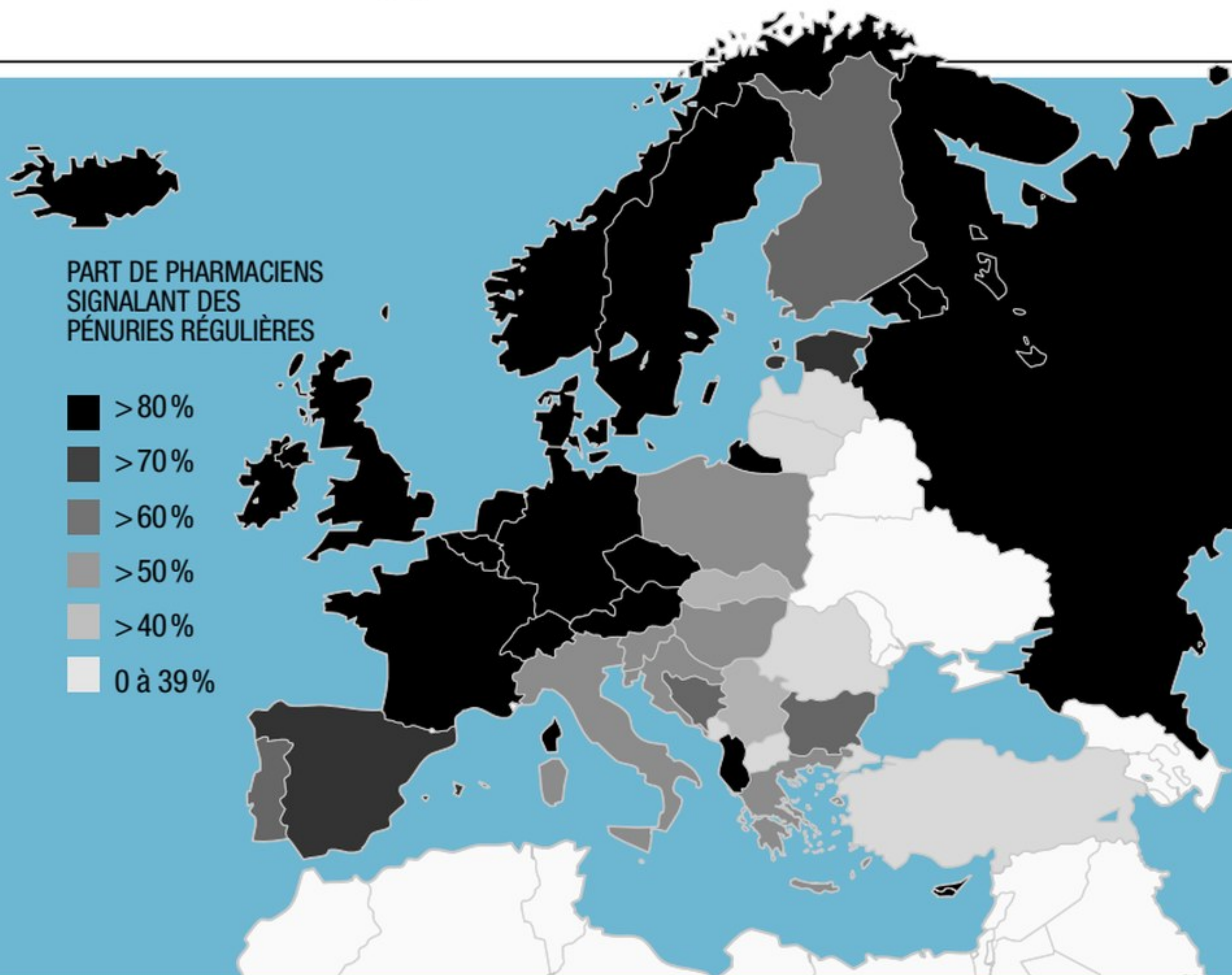
**P**aracétamol en juillet, certains anti-diabétiques en septembre, amoxicilline en sirop pour enfants en novembre... Fin 2022, l'Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM) pointait des tensions d'approvi-

sionnement pour plusieurs médicaments. Si ce sont les produits les plus populaires qui ont fait parler, les difficultés concernent en réalité tous types de médicaments. De quoi constituer une menace pour la santé publique, car ces tensions remettent en cause l'ac-

cès aux soins pour tous. Surtout lorsqu'elles impactent des médicaments d'intérêt thérapeutique majeur, ceux pour lesquels une interruption de traitement peut mettre en danger la vie du patient.

Alors oui : "Les pénuries de médicaments ne sont ni nouvelles ni propres à

la France, admet Thomas Borel, directeur scientifique du Leem, le syndicat professionnel du secteur pharmaceutique français. *Mais depuis quelques années, en particulier depuis la crise Covid, et encore plus depuis la fin 2022, elles s'intensifient.* Explications.

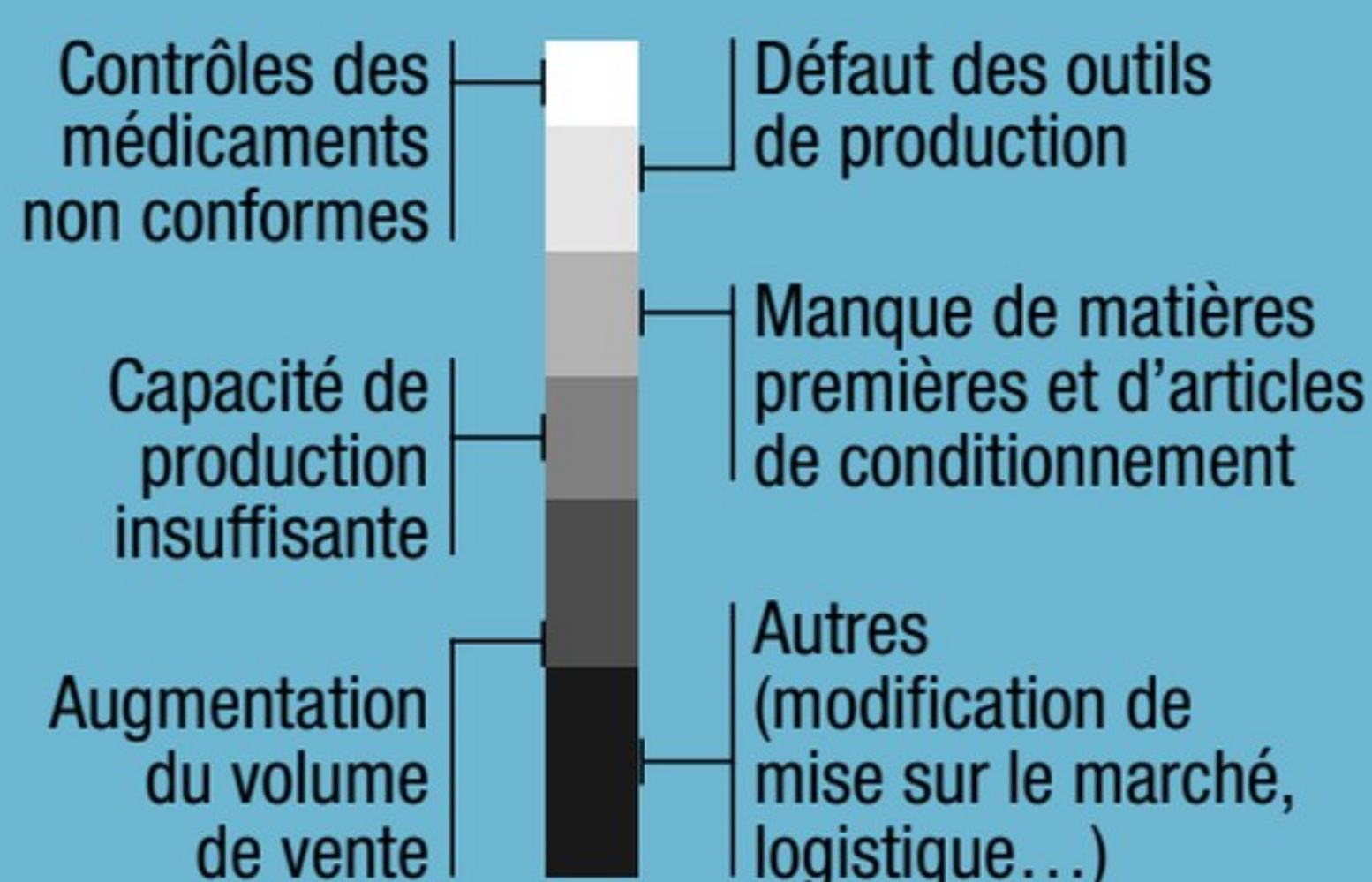


## 2 ... et n'est pas spécifique à la France

Allemagne, États-Unis, Chine, Israël, Australie, Zimbabwe... "La pénurie touche de nombreux pays, que leurs revenus soient faibles, intermédiaires ou élevés", soulignent des chercheurs chinois dans un article de 2021. Lors d'une enquête menée auprès de 1 666 pharmaciens hospitaliers de 38 pays européens (voir carte ci-contre), 97 % ont signalé des pénuries problématiques, 39 % que celles-ci survenaient de façon hebdomadaire, et 36 % de façon quotidienne.

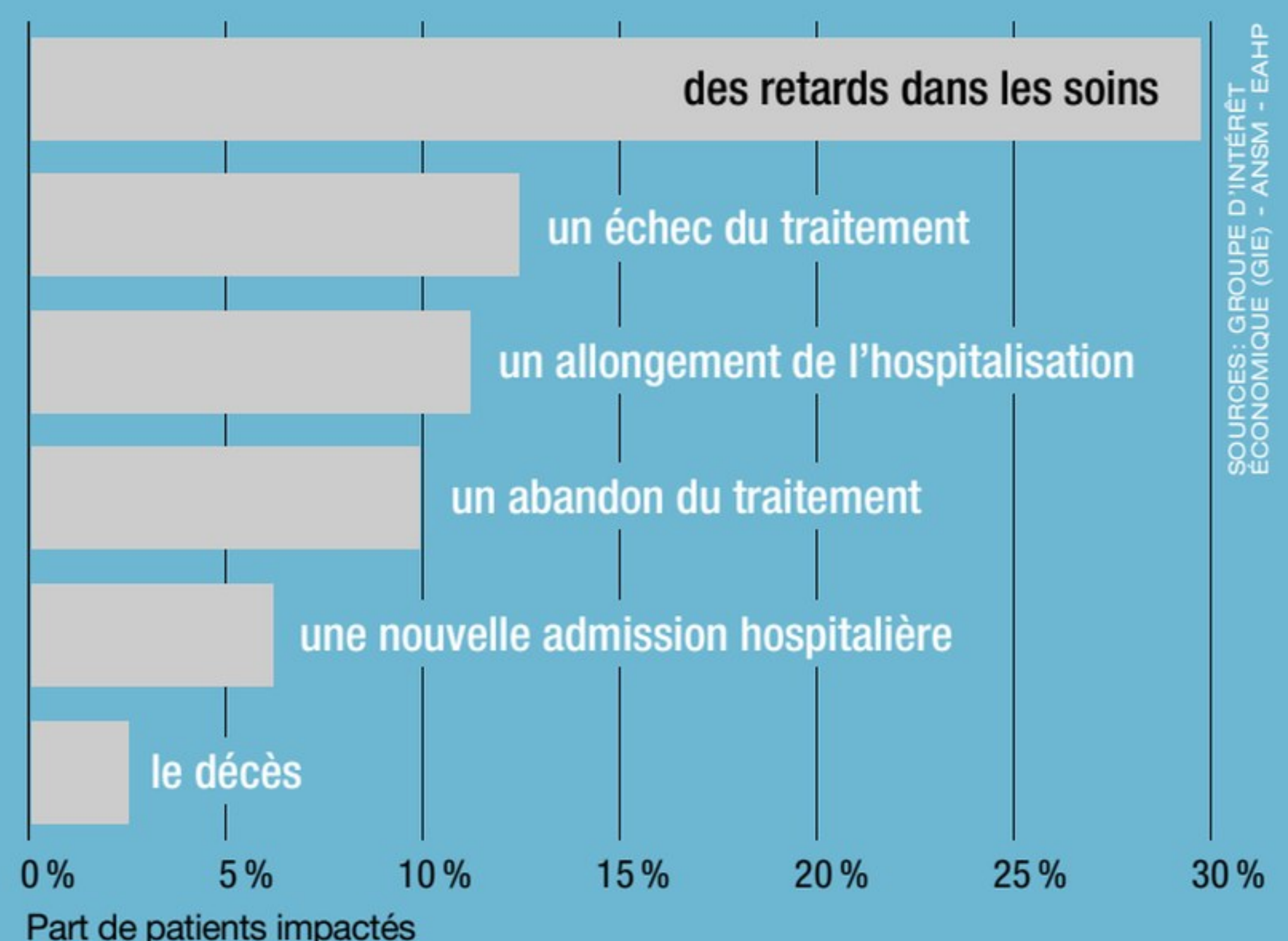
## 4 Les causes sont multifactorielles

Elles sont structurelles – liées aux capacités de production (délocalisations, retards) – et conjoncturelles. Le boom de 2022 découle surtout du contexte, avec la hausse des prix des matières premières et l'augmentation de la demande du fait du Covid en Chine et des épidémies hivernales en France.



## 5 Ces pénuries peuvent mettre en danger la santé des patients

Interrogés en 2019, 161 patients ou leurs proches ont déclaré que les pénuries ont causé :



# Automatisation et emploi : faut-il taxer les robots ?



## L'ère des robots n'en est qu'à ses débuts...

Selon certains spécialistes, nous serions déjà dans la quatrième révolution industrielle, celle du numérique. Depuis les années 1990, dans un souci de productivisme et de réduction de la pénibilité, beaucoup de postes dans l'industrie ont été remplacés par des automates. *“Après chaque révolution, la situation du monde du travail a été meilleure : des emplois ont disparu, au profit de la création de nombreux autres”*, rappelle Xavier Oberson, professeur de droit fiscal à l'université de Genève, en Suisse, et auteur de *Taxing Robots*, publié en 2019.

Cela semble se vérifier : en trente ans, plus de 200 000 postes de secrétaire ont été supprimés et 250 000 postes d'ingénieurs ont été créés en France. Aussi peut-on imaginer un équilibre naturel entre la disparition de métiers et la naissance d'autres. Un impôt ne serait alors pas nécessaire. Sauf que l'arrivée de l'intelligence artificielle s'apprête à bouleverser la donne, faisant craindre le remplacement d'emplois que l'on ne pensait pas concernés : comptables, juristes et même artistes. L'équilibre serait bel et bien menacé.



## ... mais elle pourrait faire émerger de nouvelles inégalités

Si ce déséquilibre sur le marché de l'emploi favorise certains corps de métiers, il en enfoncera d'autres. Tous profiteront d'une hausse du pouvoir d'achat due à la baisse du coût de production, mais *“ceux travaillant avec des machines auront un énorme avantage”*, souligne Xavier Oberson. Car il faudra les développer et assurer leur maintenance. À l'inverse, les salaires des travailleurs mis en concurrence avec les automates seront freinés. Une étude de 2020 a quantifié ce phénomène : dans l'industrie américaine, la

robotisation a réduit les salaires de 0,4 % entre 1990 et 2007. L'automatisation massive posera aussi des problèmes de transition : *“Tous ne pourront pas se convertir rapidement vers les métiers de la robotique”*, avance le chercheur. Taxer les robots serait alors le dernier garde-fou face aux inégalités créées, et permettrait d'aider les travailleurs impactés. Mais les industriels avancent que cela nuirait à la compétitivité avec les pays qui ne l'appliquent pas, ce qui se répercuterait *in fine* sur les salariés.

**Alors que le gouvernement français estime que 15% des emplois actuels pourraient déjà être remplacés par des machines,** de nouveaux métiers semblent menacés par les derniers progrès de l'intelligence artificielle. Pour préserver les revenus et assurer une reconversion aux travailleurs impactés, une solution serait de taxer les robots. Mais définir cet impôt n'est pas simple.

PAR CHARLOTTE MAUGER

## EN CHIFFRES



### Imposer les machines permettrait de préserver les protections sociales...

Autre conséquence: "Si le travail humain disparaît, les salaires aussi", insiste Xavier Oberson. Et, avec eux, les cotisations sociales finançant la Sécurité sociale et l'assurance-chômage. Dès lors, le problème est double: le chômage progresse, tandis que son finan-

cement régresse. "Si l'essentiel des emplois est remplacé par des robots, on va vers une catastrophe financière", alerte l'universitaire. Pour le moment, ce phénomène n'est pas marqué: les États les plus robotisés ne sont pas ceux qui affichent les plus forts taux de chômage.

Mais Xavier Oberson se méfie: "C'est parce que nous n'en sommes encore qu'au tout début." Il est donc nécessaire de trouver une manière de financer les protections sociales. Imposer les travailleurs automatisés apparaît en l'occurrence comme la bonne idée.

## 2017

C'est l'année au cours de laquelle la députée luxembourgeoise Mady Delvaux a proposé une taxation sur les robots au Parlement européen. Le projet a finalement été refusé.

## 20

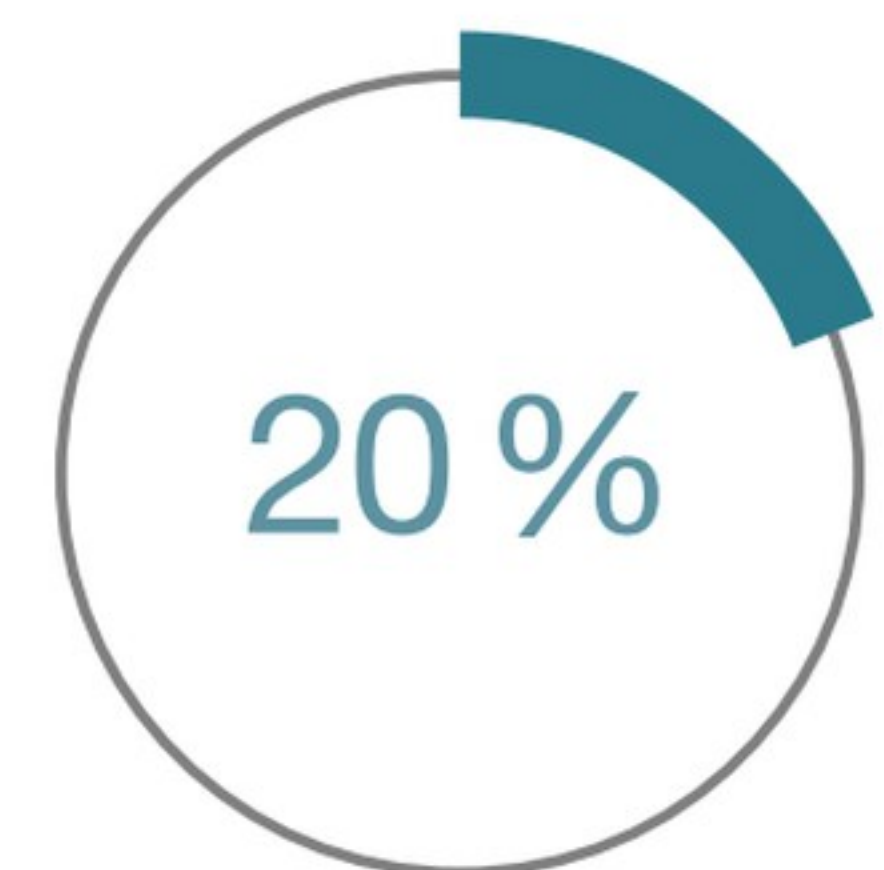
C'est, en millions, le nombre d'emplois industriels qui pourraient disparaître dans le monde d'ici à 2030 à cause de la robotisation.



### ... mais la définition d'une taxe est loin d'être évidente

Reste à s'accorder sur ce que l'on nomme "robot". "Est-ce qu'un lave-vaisselle en est un?" s'interroge Arnaud Costinot, professeur en économie au Massachusetts Institute of Technology, aux États-Unis. Derrière l'ironie de la question se cache un problème bien réel." En effet, à partir de quel degré d'automatisation une machine est-elle considérée comme un robot? Et doit-on toutes les imposer de la même manière? Pour parvenir à contenter les industriels comme les salariés, Arnaud Costinot et son équipe ont mené

une étude en 2022. Ils ont pu estimer que les robots concernés devraient être taxés entre 1 et 3% de leur valeur à l'achat. "On pourrait également créer un salaire théorique, basé sur le temps qu'aurait mis un humain à effectuer la même tâche, et imposer ce salaire", propose Xavier Oberson. Enfin, une autre solution consisterait à taxer les bénéficiaires imputables aux automates. "Quoi qu'il en soit, un consensus doit être trouvé au niveau global. Car si un État décide seul, les entreprises robotiques iront ailleurs", conclut le chercheur.



C'est le pourcentage de robots du monde entier concentrés en Chine. Le pays a suivi dès 2014 une politique d'automatisation pour stimuler sa production industrielle.

## PAROLE AUX CHERCHEURS

# ÉTEIGNONS LES LUMIÈRES POUR PROFITER DE LA VOÛTE CÉLESTE !

La voûte étoilée est sans doute le plus vieil héritage commun de l'humanité. Des générations et des générations d'êtres ont admiré ces milliards de points brillants venant, irrémédiablement, chaque nuit, décorer le ciel nocturne. Et toutes ont été source de croyances et de connaissances : chaque civilisation a imaginé ses propres histoires et légendes en contemplant les constellations ou l'incroyable bande que forme la Voie lactée. L'observation du ciel a aussi permis d'extraordinaires avancées scientifiques : l'humanité a pu prouver la rotondité de la Terre, en déterminer les dimensions, ainsi que celles du Système solaire. Quand Galilée a pointé sa lunette vers le ciel, il a pu être le témoin privilégié des reliefs à la surface de la Lune, des croissants de Vénus ou des satellites qui entourent la planète jovienne. Pour la toute première fois, la Terre n'était plus au centre de l'Univers, elle n'était plus qu'un simple grain de sable plongé dans un océan d'étoiles et de galaxies, et la vie qu'elle abrite

le fruit d'une aventure cosmique de 13,8 milliards d'années. Mais voilà, depuis l'ère industrielle, l'humanité a massivement pollué son environnement : son air, ses sols, ses océans... et même son ciel ! On ne s'y intéresse que très peu, mais la pollution lumineuse a un impact néfaste énorme sur la faune, la flore, la santé humaine et la clarté du firmament. À cause d'elle, une très grande partie du monde a été déconnectée du ciel nocturne et de ses 6 000 étoiles habituellement observables. Heureusement, en France, certains sanctuaires résistent et luttent : c'est le cas des "réserves internationales de ciel étoilé". Alors, que chacun d'entre nous profite de ces lieux pour (re)découvrir notre Voie lactée, en espérant que le fait

de voir sa magnificence nous permette de prendre conscience du problème. Par chance, celui-ci peut être combattu de la manière la plus simple qui soit : en éteignant les lumières. Plongeons-nous dans le noir, et profitons de l'éclat de l'Univers.



ÉRIC LAGADEC

Astrophysicien  
à l'Observatoire  
de la Côte d'Azur

# CHAQUE JOUR, NOUS INSPIRONS **7 FRANÇAIS SUR 10.** À CHACUN DE LEURS MOMENTS DE VIE\*

 marmiton

Cette tarte tatin était excellente, où est-ce que je peux trouver la recette ?

GRAZIA

J'adore ma nouvelle jupe, je me demande avec quoi je pourrais la porter ?

meltY.

Demain c'est samedi, et si j'emmenais les enfants faire une sortie culturelle ?

Maison&Travaux

J'ai bien envie de refaire la déco de mon salon, quelles sont les tendances du moment ?

Doctissimo

Je suis inscrite au marathon mais j'ai une douleur au genou, est-ce une bonne idée ?

aufeminin

J'ai besoin de chance aujourd'hui, qu'est-ce que dit mon horoscope ?

Auto Plus

Je dois acheter une voiture, mais ai-je raison de vouloir la prendre électrique ?

 **REWORLD  
MEDIA connect**

**1<sup>ÈRE</sup> PLATEFORME MEDIA EN FRANCE**  
80 MARQUES MEDIA  
100% PARCOURS CLIENTS

*Cultiver la diversité de vies*

connect@reworldmedia.com

# Futur

Science  
& société

MARS  
2023

ÉMIRATS  
ARABES UNIS

ALLEMAGNE

ÉTATS-UNIS

ITALIE

NORVÈGE





DUBAÏ (ÉMIRATS ARABES UNIS)



# L'agrotourisme se pratiquera sous des serres géantes

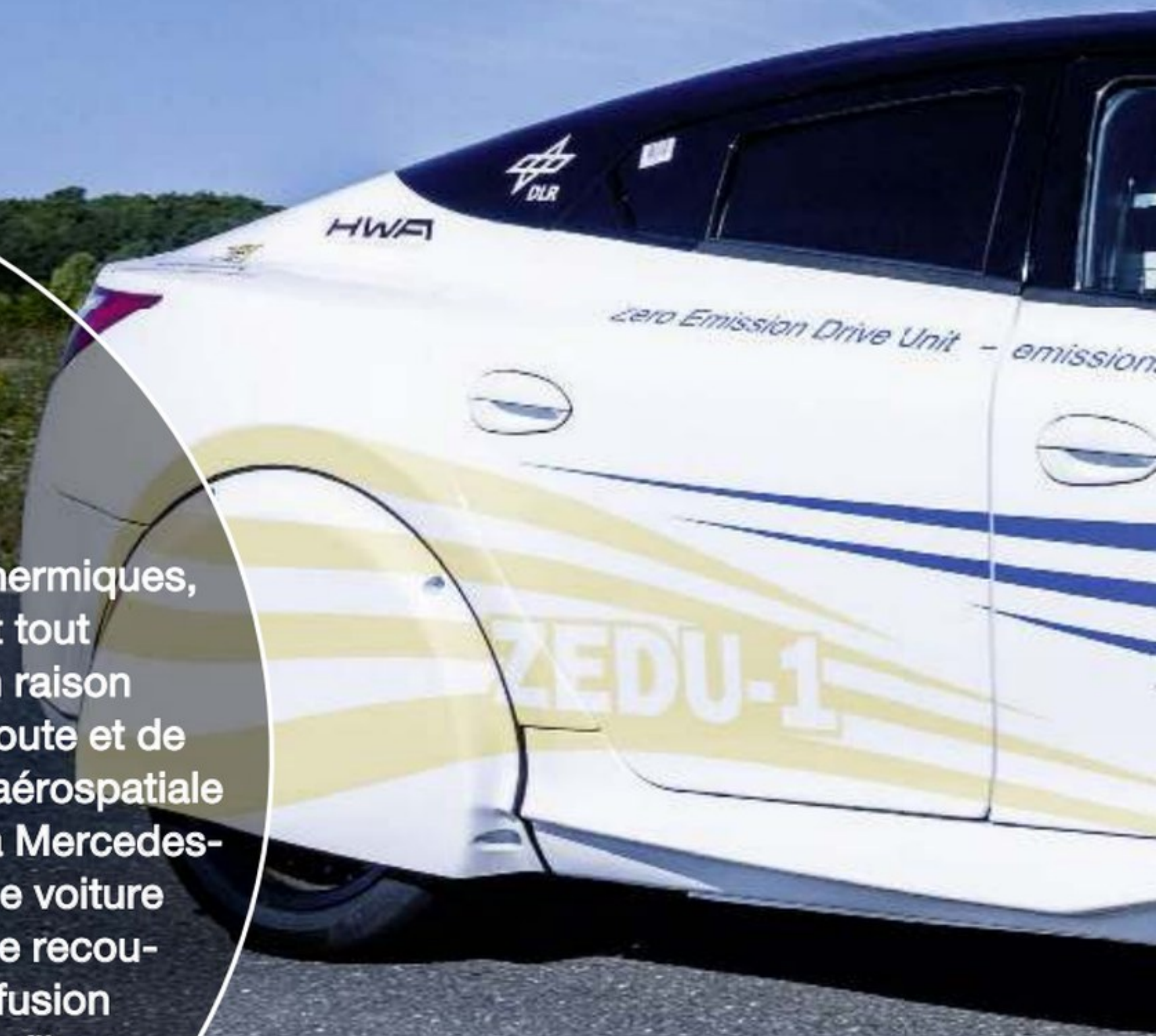
Pour faire de Dubaï la destination agrotouristique la plus importante au monde, le cabinet d'architectes URB présente Agri Hub. Cette énorme structure serpentant dans le désert de Rub al-Khali se veut énergétiquement à la pointe : son électricité sera exclusivement issue des énergies renouvelables, son eau totalement recyclée et ses déchets traités sur place. La construction sera semi-enterrée afin de bénéficier d'un refroidissement passif, améliorant son efficacité énergétique. À l'intérieur, les visiteurs pourront se promener à pied ou enfourcher leur vélo pour sillonner les 20 km de piste cyclable. Sur le chemin, ils pourront acheter fruits et légumes auprès des fermiers locaux. Le Hub comportera aussi un centre de conservation de la nature et du patrimoine, un institut de technologie agricole dont le but sera d'augmenter la production locale tout en réduisant les ressources liées à cette activité, et enfin un centre de bien-être – tourisme oblige. Agri Hub pourrait ouvrir ses portes en 2030. s.f.

ALLEMAGNE



## Les voitures filtreront leurs particules fines

Si elles polluent moins que les thermiques, les voitures électriques émettent tout de même des particules fines en raison du frottement des pneus sur la route et de l'utilisation des freins. L'Agence aérospatiale allemande s'est donc associée à Mercedes-Benz pour concevoir Zedu-1 : une voiture électrique équipée d'un carénage recouvrant les roues pour limiter la diffusion des particules, et d'un aspirateur filtrant et stockant ces dernières. Mais pour une totale efficacité, il ne faut pas dépasser les 50 km/h! **K.T.**

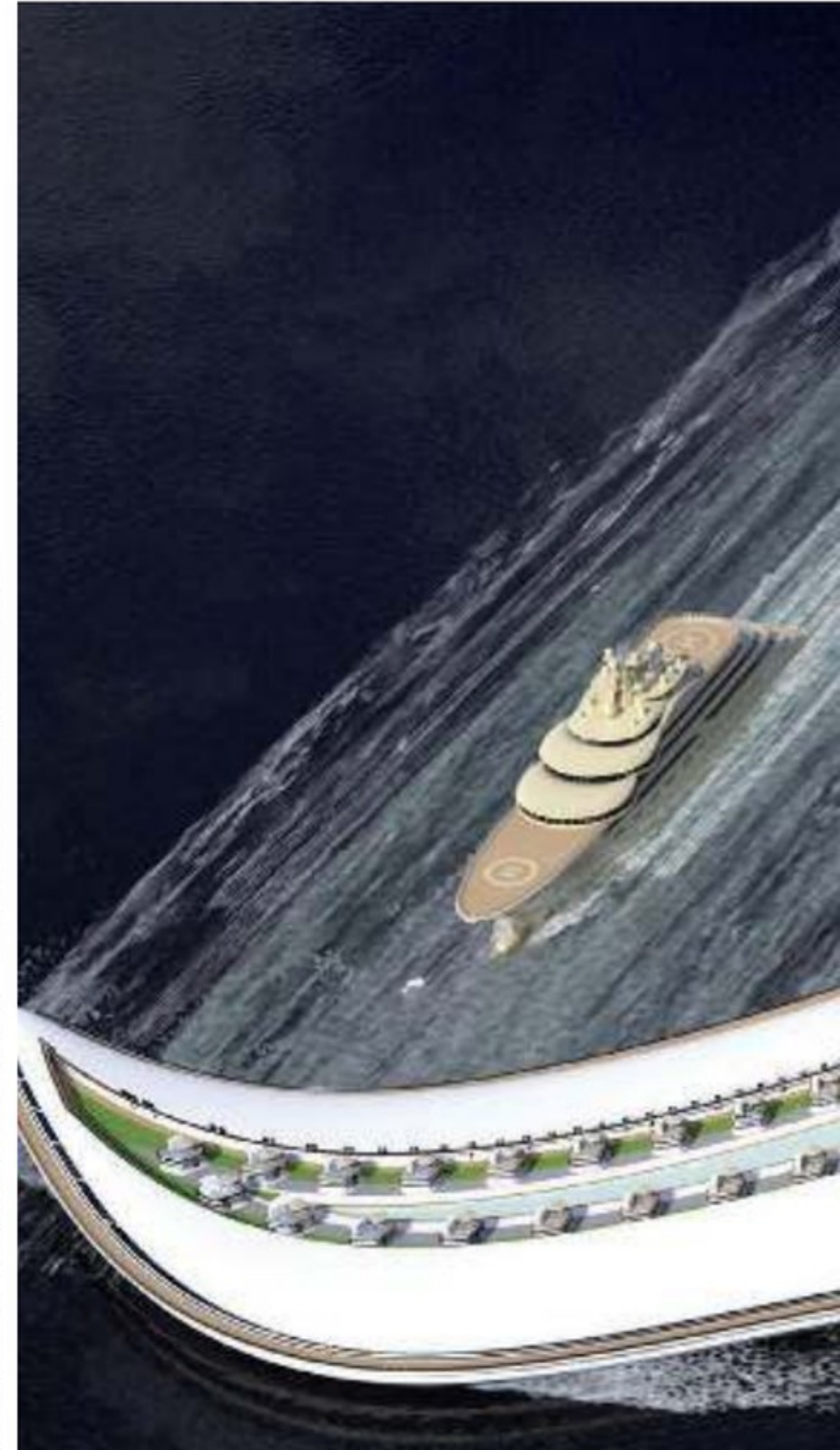


SAN FRANCISCO



## Un aéronef traversera les océans

Dernier-né de l'entreprise Aura: le Ranger. Doté d'ailes repliables lui donnant l'air d'un Tie Fighter de *Star Wars*, il se propulsera grâce à des moteurs à réaction et du carburant durable. Surtout cet aéronef, capable de décoller et atterrir verticalement, embarquera jusqu'à 5 passagers pour un trajet de 18000 km à 3 km de haut, à une vitesse de croisière de 820 km/h. Du jamais vu! **E.T.-A.**



DLR/GERMAN AEROSPACE CENTER - AURA AEROSPACE - LAZZARINI DESIGN STUDIO



ITALIE



## Des villes géantes vogueront

Le studio de design Lazzarini veut construire le plus grand yacht du monde. Baptisé Pangeos, cette ville flottante en forme de tortue accueillerait jusqu'à 60 000 personnes, mesurerait 550 m de long, 610 m de large. Il serait propulsé par 9 moteurs électriques, tandis que son toit serait recouvert de panneaux solaires. Un projet bien ficelé... Reste à trouver 8 milliards de dollars pour le financer!

S.F.

HARDANGERFJORD  
(NORVÈGE)



## Un bâtiment flottant s'inspire des poissons

Sur le Hardangerfjord, deuxième plus grand fjord de Norvège, flotte depuis peu un bâtiment futuriste, accessible en ferry électrique. Conçu par le studio danois Kvorning Design et l'entreprise d'élevage de saumons Eide Fjordbruk, sa forme arrondie est censée rappeler un œil de saumon : d'où son nom, Salmon Eye. Sa façade, composée de 9 500 plaques d'acier inoxydable, doit, elle, imiter des écailles de poissons. Rien d'étonnant, puisque la structure est un centre d'exposition sur l'aquaculture durable. **L.B.**



HAROLD  
**GUILLEMIN**

Fondateur et  
PDG de FinX

Notre rêve, c'est  
de remplacer les  
hélices des bateaux  
par des nageoires



PARIS



## Un bateau propulsé par une nageoire

Il fallait y penser : un concept de moteur imitant l'oscillation des poissons pour déplacer des engins nautiques.

PAR **STÉPHANE FAY**

Et si les moteurs de bateaux troquaient leur hélice pour... une nageoire ? C'est le pari fou de la start-up parisienne FinX, qui a développé un moteur électrique dans lequel les pales en acier inoxydable sont remplacées par une simple membrane. Ici, pas de rotation : c'est en oscillant à la manière d'une queue de poisson que cette fine couche d'élastomère déplace l'eau et propulse le bateau. On peut alors modifier la vitesse du véhicule en jouant à la fois sur l'amplitude et sur la fréquence de l'oscillation.

Selon ses constructeurs, cette membrane a plusieurs avantages sur l'hélice. D'abord, elle est moins dangereuse, car elle ne tranche pas. Ensuite, le mécanisme, n'accrochant pas les algues ou les filets, et comportant moins de pièces qu'une hélice, s'entretient plus facilement. Enfin, elle offre un plus grand degré

de personnalisation : "Une quarantaine de paramètres peuvent être ajustés sur notre moteur", précise Harold Guillemain, ingénieur ayant fondé la start-up. On maximise ainsi électroniquement son rendement selon les situations, et ce quel que soit son régime de fonctionnement.

Pour l'instant, la membrane de FinX offre une puissance de 5 chevaux et déplace des bateaux de 3 tonnes au plus. En parallèle, l'entreprise prépare un moteur bien plus puissant, de 150 chevaux, destiné à des embarcations plus lourdes. "En théorie, il n'y a pas de limites à la puissance de nos futurs moteurs, explique Harold Guillemain. Mais pour les très gros bateaux, nous pensons que l'humanité reviendra à une voile accompagnée de petits moteurs d'appoint, pour les jours sans vent." Reste à savoir si ces derniers seront à nageoire.



# 25 ans

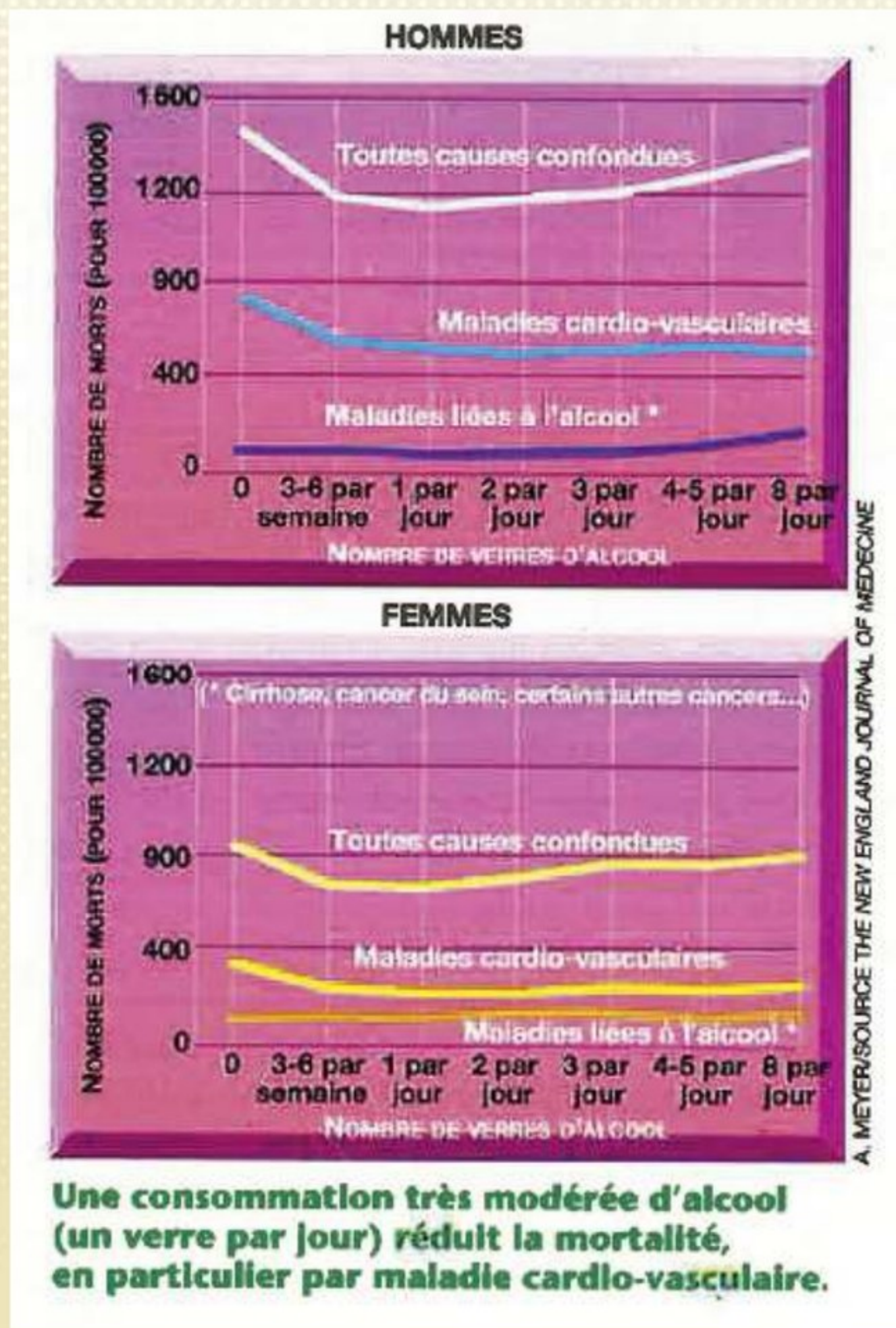
Le vin peut être bon pour la santé

Nous avons d'abord cru à un poisson d'avril mais ce n'en est pas un. Dans son édition de mars 1998, *Science & Vie* s'attarde sur les bienfaits du vin sur la santé. Le breuvage y est salué pour ses nombreuses vertus, appuyées par des études du monde entier : il serait antioxydant,

anticancérigène, anti-Alzheimer et même... antimort : *"Une consommation modérée et régulière de vin réduit significativement la mortalité"*, avance ainsi l'auteur de l'article, qui précise : *"de 1,25 %"*. Une potion magique ? Attention, cependant : *"Même s'il protège*

*de nombreuses maladies, on ne doit pas considérer le vin comme un médicament."* Dans son argumentation, *Science & Vie* loue les habitudes de l'Hexagone en évoquant le fameux *"paradoxe français"*. Malgré un taux de cholestérol identique à celui des Américains, les habitants du Sud-Ouest sont moins sujets aux maladies cardio-vasculaires. La raison ? La consommation de 15 à 30 cl de vin à chaque repas, pas plus. Sauf que voilà, *"tout cela a été complètement démystifié depuis, assure William Lowenstein, médecin, addictologue et président de SOS Addictions. Plusieurs études ont montré que, dès le premier verre de vin, les risques sont certains, alors que les bénéfices restent encore à prouver. D'ailleurs, aucune étude probante ne montre les différences entre le vin et les autres alcools"*. Une chose est sûre : comme les vins, il y a des articles qui vieillissent mieux que d'autres.

Dans un encadré intitulé "L'alcool entre le bien et le mal", ces courbes tirées d'une étude américaine soutiennent l'idée qu'une faible consommation d'alcool peut être bénéfique pour certains !



Une consommation très modérée d'alcool (un verre par jour) réduit la mortalité, en particulier par maladie cardio-vasculaire.

## 50 ans

Les tests de grossesse sont en vente libre



Pour la première fois, en mars 1973, les pharmacies françaises proposaient à la vente, à 29 F seulement, le G-test, véritable “laboratoire de poche” permettant à une femme “de déterminer toute seule” si elle était enceinte. La pratique existait déjà en laboratoire depuis 1960, mais “le

*coup de maître des fabricants a été de simplifier au maximum son maniement*”. Il fallait toutefois mélanger dans un tube à essai une poudre à base d’anticorps de lapines et d’antigènes de moutons avec “trois gouttes d’urine”. Si “un anneau régulier brun foncé” apparaissait en quelques minutes, le test était positif. Évidemment décrié par une partie de la population, le G-test a cependant été bien accueilli par la majorité des médecins : “Une femme qui a décidé de se faire avorter le fera de toute façon, et parfois dans des conditions fort dangereuses. Avec [...] un diagnostic précoce, [elle] pourra au contraire se décider rapidement”, pointait votre magazine. Une révolution était en marche.

## 100 ans

On motorise le monocycle



Il y a un siècle, *La Science et la Vie* dédiait sa couverture à cet étonnant monocycle automobile, œuvre d’un ingénieur italien. Votre magazine prévenait : “[ni] la commodité ni le confort” n’étaient recherchés ici, plutôt “l’économie”. Son fonctionnement reposait sur deux cercles, l’un inclus dans l’autre. D’abord un

cercle d’acier, assez grand pour nicher un conducteur, supportait le siège et le moteur. Puis la roue, dont la jante se glissait dans des galets disposés en gorge sur la circonférence extérieure de la structure en acier, était actionnée par le moteur. “Cercle et roue peuvent donc tourner indépendamment l’un de l’autre”, pointait votre magazine. Et pour tourner ? Le conducteur s’inclinait à droite ou à gauche ! Ce monocycle devait ainsi être instable à faible vitesse... mais pouvait atteindre les 48 km/h, “ce qui n’est vraiment pas mal”, concluait notre prédécesseur. Cela n’a pas suffi...

#LACHRONIQUE



La chronique de  
**Gautier Depambour**

Doctorant en histoire des sciences  
au laboratoire Sphere

## Piaget vs Chomsky : comment un enfant acquiert-il le langage ?

L’acquisition du langage est-elle un processus inné ou le fruit d’une interaction entre l’enfant et son environnement ? C’est le cœur du débat opposant le psychologue et biologiste suisse Jean Piaget au linguiste américain Noam Chomsky. Pour en discuter, les deux scientifiques et leurs partisans s’étaient réunis en 1975 lors d’un colloque organisé dans un lieu atypique : l’abbaye de Royaumont.

Piaget et Chomsky s’accordaient sur un point : les enfants possèdent en eux une structure cognitive propre à l’élaboration du langage. Reste à savoir à quel point ce “noyau” a besoin de l’environnement pour se déployer... C’est là où le bât blesse : pour Piaget, l’enfant développe le langage en même temps qu’il découvre et cherche à organiser le réel qui l’entoure. Il intègre ce qu’il perçoit dans le langage grâce à ses sens, et forge petit à petit des

concepts de plus en plus généraux et abstraits. Piaget minimise donc le rôle de l’inné.

C’est tout le contraire de Chomsky ! Ce dernier a montré que les interactions avec le monde ne permettaient pas d’expliquer comment l’enfant parvenait à apprendre certaines règles de grammaire complexes. Chomsky affirme donc que celles-ci sont innées, et qu’elles font progressivement leur apparition au cours de la maturation du cerveau. De plus, il suppose qu’il existe des structures biologiques inconnues qui interviennent dans l’apprentissage du langage et qui méritent d’être explorées.

Aujourd’hui, ce débat n’est pas encore tranché. Mais il aura permis d’impulser un nouveau champ de recherche : la biolinguistique, l’étude biologique du langage.

Retrouvez les podcasts  
“La science dans  
tous ses débats”.

science-et-vie.com

66

Six manipulations de virus à travers le monde

72

Des expériences à visée thérapeutique... et d'autres à risque

76

Un accident est-il possible ?

80

L'origine du SARS-CoV-2 reste un mystère





# VIRUS MODIFIÉS EN LABO

## VA-T-ON TROP LOIN ?

PAR CORALIE HANCOK

Barricadés dans des congélateurs, au fin fond de laboratoires ultra-sécurisés, des virus inédits dorment. Ressuscités d'entre les âges, rendus plus virulents, plus contagieux ou, simplement, créés de toutes pièces, tous sont la création de quelques scientifiques. Des apprentis sorciers ? Non : la modification de virus a un potentiel thérapeutique bien prouvé. Sauf que certaines de ces réalisations hérissent tout un pan du monde de la recherche par leur grande dangerosité... Comment sont-ils fabriqués ? Pourraient-ils s'échapper ? Voici le fascinant bestiaire des "frankenvirus".

SHUTTERSTOCK



# 6 MANIPULATIONS DE VIRUS À TRAVERS LE MONDE

ÉTATS-UNIS, 2012

## RENDRE LA GRIPPE AVIAIRE TRANSMISSIBLE AUX HUMAINS

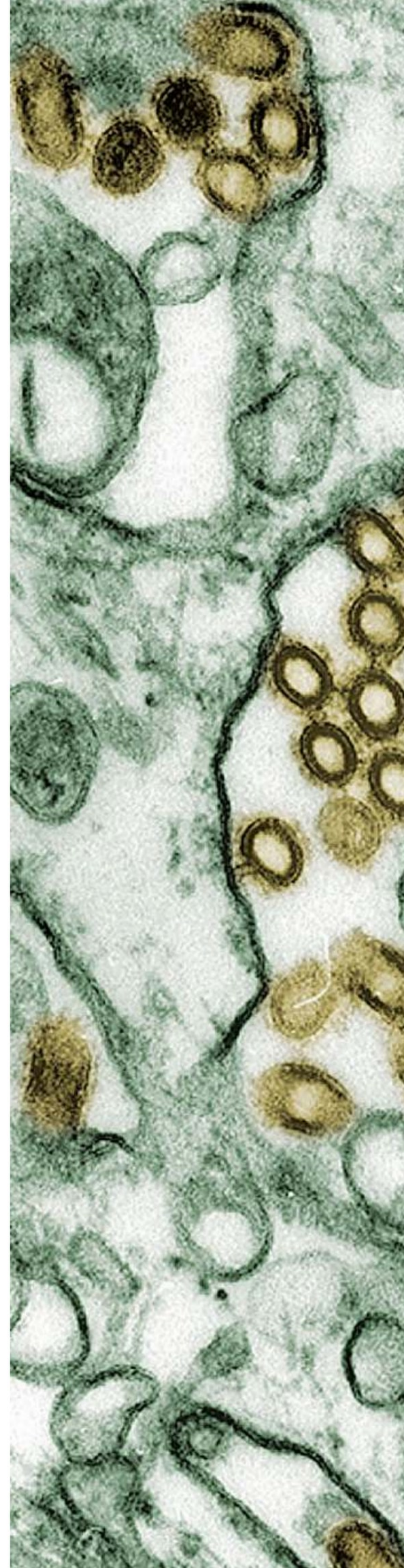
**C'**était en 2012. À deux reprises – d'abord dans un laboratoire du Wisconsin, aux États-Unis, puis à Rotterdam, aux Pays-Bas –, le virus H5N1 de la grippe aviaire est devenu transmissible aux mammifères. Cette capacité, il ne la possède que très rarement dans la nature et, surtout, le virus ne se transmet quasiment jamais d'un humain à l'autre. Fort heureusement d'ailleurs : 52 % des 862 humains infectés qui ont été recensés entre 2003 et 2021 ont succombé à la maladie ! Reste qu'au sein de ces laboratoires, dans des conditions ultra-sécurisées, le virus a acquis un gain de fonction... et la défense naturelle des mammifères est finalement tombée.

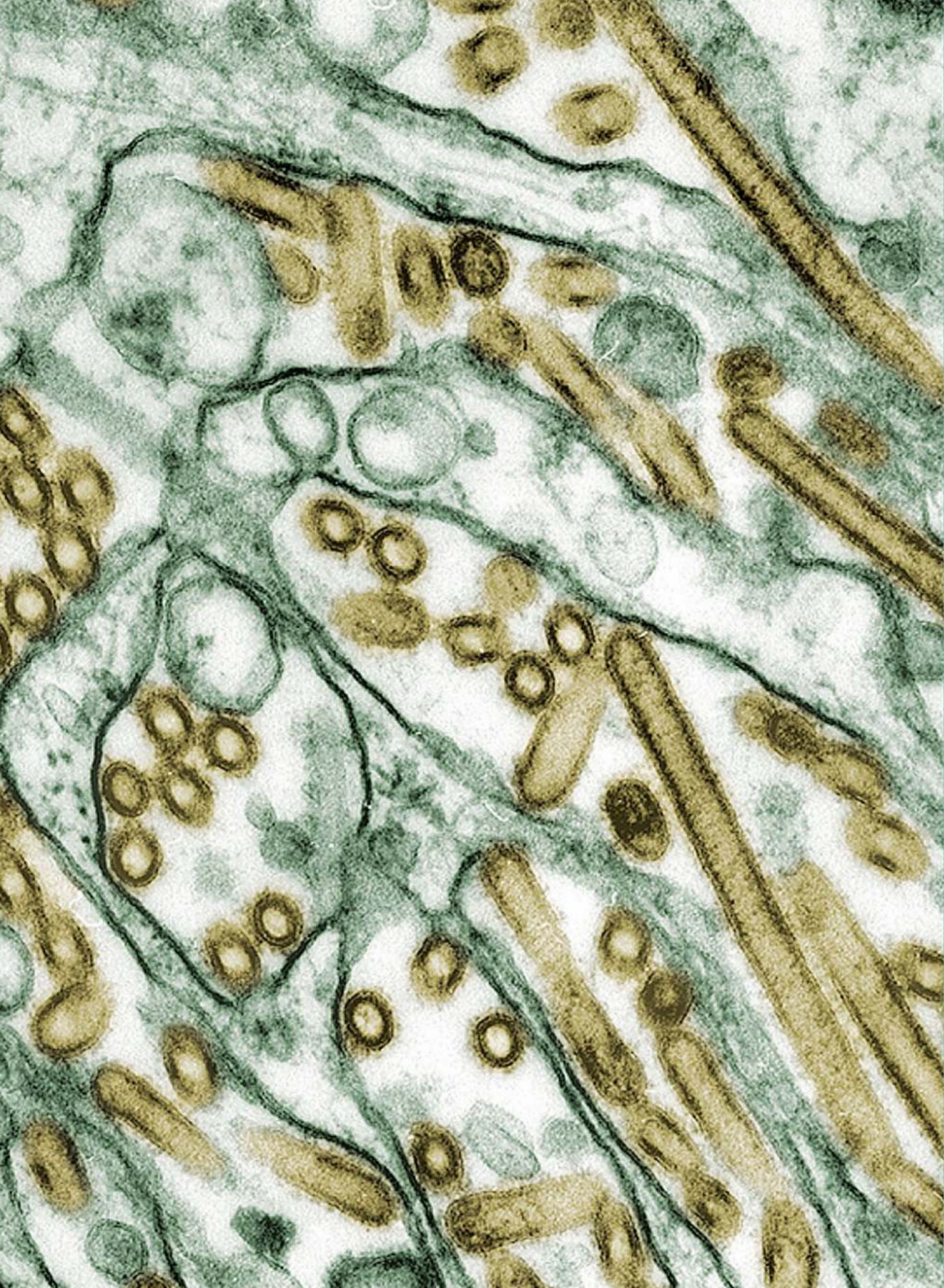
Pour y parvenir, l'équipe de Yoshihiro Kawaoka, aux États-Unis, a d'abord provoqué des mutations aléatoires dans la zone qui permet au H5N1 de se lier aux cellules d'oiseaux. Tous les virus mutants en résultant ont ensuite été mis en contact avec des globules rouges d'oiseaux modifiés, présentant des récepteurs cellulaires humains. Si les mutants arrivaient à s'y fixer, c'est donc qu'ils avaient développé la capacité d'infecter les cellules humaines... Et ce fut bien le cas pour certains mutants. Afin d'augmenter encore leur transmissibilité, ils ont

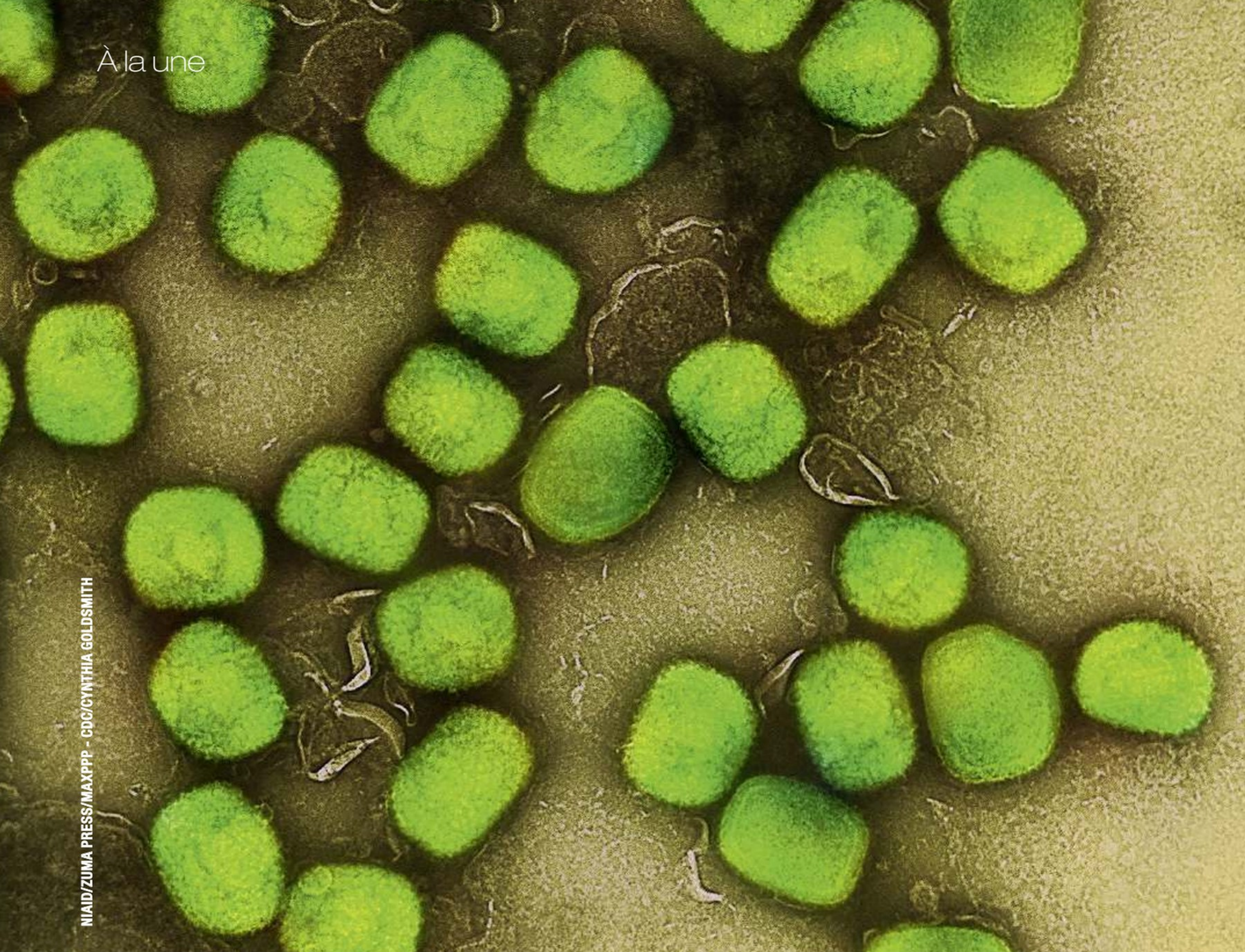
par la suite été "mélangés" à un virus grippal humain afin de provoquer une recombinaison – un événement susceptible de se produire naturellement lorsque deux virus infectent le même hôte. Les virus ainsi générés ont été inoculés à des furets, qui ont été placés à proximité de furets sains. Le résultat ? Quelques jours plus tard, ces derniers étaient à leur tour contaminés : la grippe aviaire s'était transmise par voie respiratoire, entre mammifères.

Aux Pays-Bas, Ron Fouchier a procédé différemment : il a d'abord identifié des mutations qui avaient conduit à l'émergence de pandémies grippales, et les a introduites dans un virus H5N1. Le mutant obtenu a été inoculé à un premier furet qui est tombé malade. Le virus a alors été prélevé sur ce furet et inoculé à un second, puis réprélevé pour être inoculé à un troisième, et ainsi de suite. Après 10 "passages", Fouchier a obtenu le même résultat que Kawaoka : son virus était lui aussi capable de contaminer des furets sains par voie respiratoire. Au moins, il ne semblait pas avoir gagné en virulence... →

➤ Le virus H5N1, ici en marron, a acquis la capacité de se fixer à la membrane des cellules humaines.







NIAID/ZUMA PRESS/MAXPPP - CDC/CYNTHIA GOLDSMITH

**MADRID, 2021**

## AUGMENTER LA DANGÉROSITÉ DU **MERS** PAR ACCIDENT

**L'**expérience se déroule en 2021 à Madrid. Le but ? Comprendre le rôle d'un gène particulier du MERS-CoV, un coronavirus qui a commencé à s'attaquer aux humains en 2012, avec un fort taux de mortalité, proche de 35 %. La mission se révèle un véritable casse-tête : les chercheurs voulaient étudier le virus chez un modèle animal proche de l'humain, la souris, or celle-ci n'y est pas sensible.

Afin de contourner le problème, l'équipe de Stanley Perlman, à l'université de l'Iowa (États-Unis) a donc conçu, en 2017, des souris génétiquement modifiées susceptibles d'être infectées par le MERS-CoV. Puis, pour obtenir un MERS-CoV réellement adapté à cet animal, ils

ont inoculé à 30 reprises le virus à leurs souris transgéniques.

Ensuite, les chercheurs ont voulu comprendre le rôle d'un gène viral, appelé "5", dans la pathogénicité du MERS-CoV. Ils se sont alors associés à l'équipe de Luis Enjuanes, du Centre national de biotechnologie de Madrid, et ont conçu un autre virus dans lequel le gène 5 était manquant, à partir du leur MERS-CoV adapté à la souris. *"Quand on enlève un gène, on s'attend en général à une perte de fonction"*, détaille Luis Enjuanes. *Or nous avons observé exactement l'inverse : le virus modifié s'est révélé plus virulent encore que celui d'origine.* Le chercheur s'empresse de préciser : *"Nous l'avons immédiatement détruit."*

^ Le gène "5" du virus MERS-CoV a été retiré par manipulation génétique.

ÉTATS-UNIS, 2005 - CANADA, 2007

## RESSUSCITER LA GRIPPE ESPAGNOLE À PARTIR DE CADAVRES

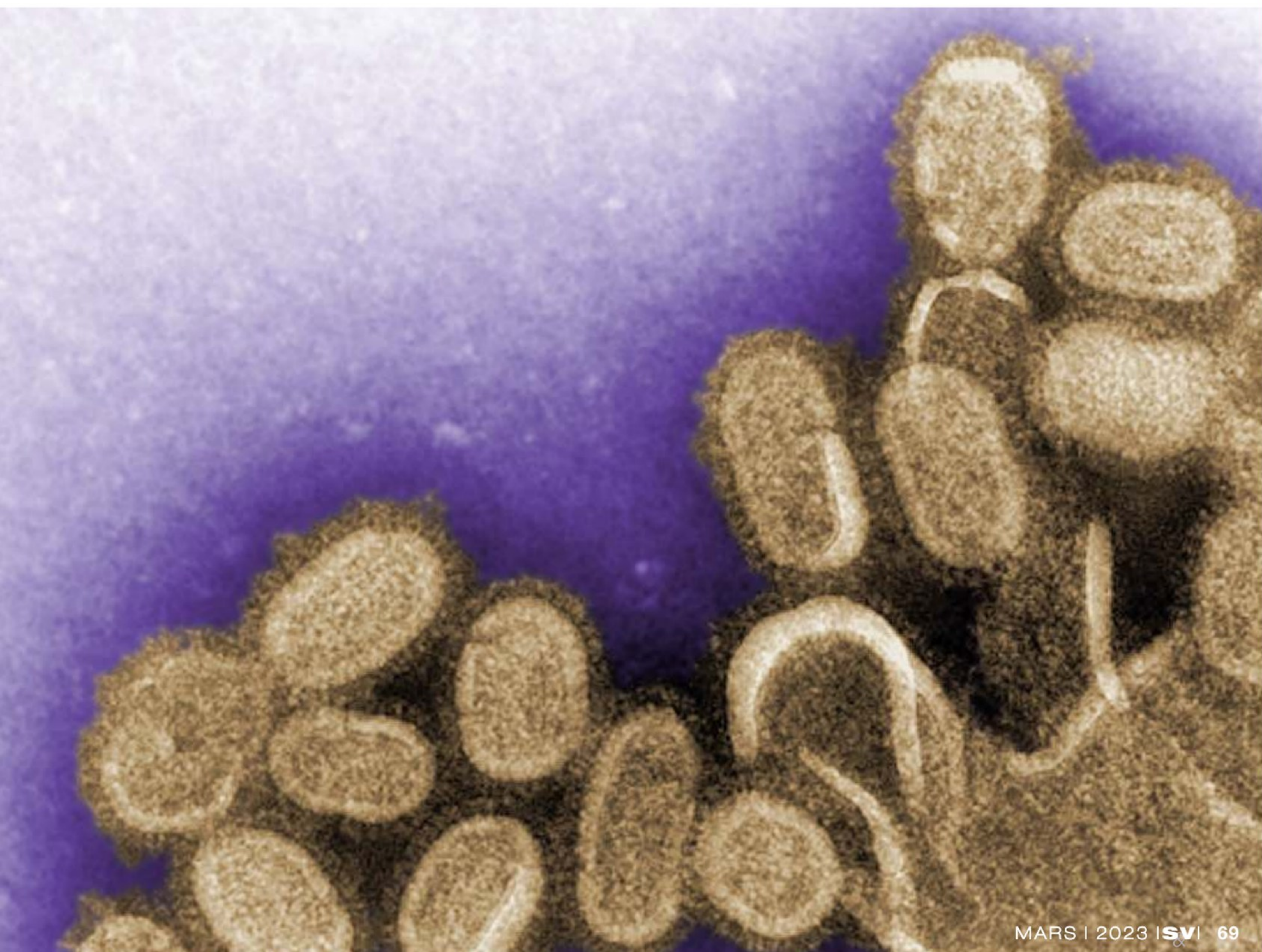
**E**n 1918, le virus de la grippe espagnole a provoqué l'une des pires pandémies que l'humanité ait connues : entre 20 et 50 millions de personnes en sont décédées, et le taux de mortalité était particulièrement élevé chez les 15-34 ans. Depuis, le virus a disparu de la surface de la Terre. Vraiment ? Car voilà qu'à la fin des années 1990, des chercheurs sont parvenus à en reconstituer la séquence ADN à partir d'échantillons pulmonaires prélevés sur des victimes.

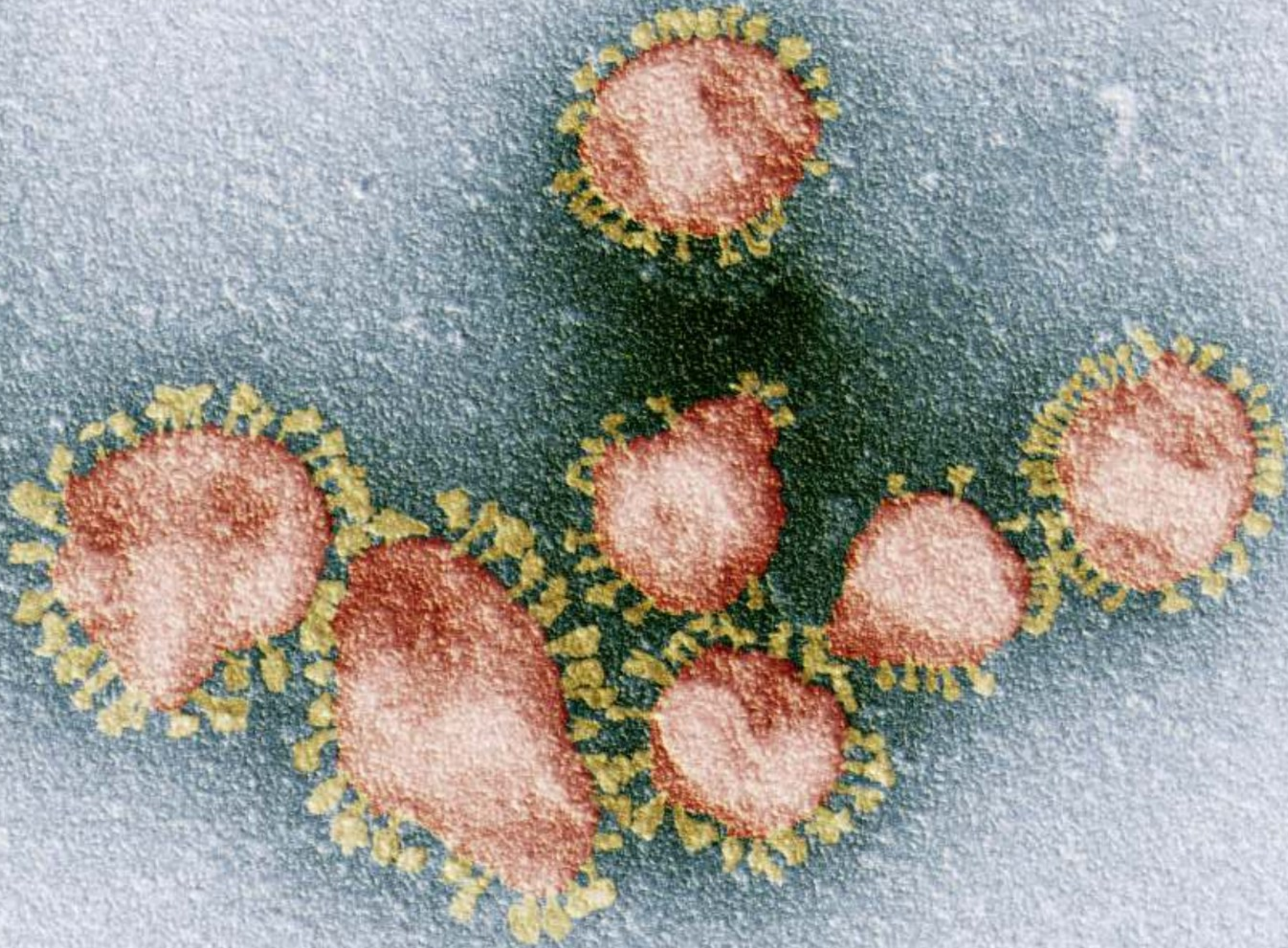
Dans la foulée, deux équipes de chercheurs, l'une aux États-Unis, l'autre au Canada, ont entrepris de le recréer grâce à la technique de génétique inverse, qui permet de reconstituer un micro-organisme à partir de sa séquence d'acide nucléique. Et... ils ont réussi, comme

l'attestent leurs résultats publiés respectivement en 2005 et 2007. L'équipe américaine a ensuite testé le virus chez la souris – sans surprise, et il s'est révélé particulièrement virulent.

L'équipe canadienne l'a, quant à elle, testé sur des macaques. *“Normalement ces macaques ne tombent pas malades ou très peu lorsqu'ils sont infectés par d'autres virus grippaux,* détaille Darwyn Kobasa, le chercheur du Laboratoire national de microbiologie qui a dirigé la reconstruction du virus au Canada. *Mais avec le virus de la grippe espagnole, ils sont tous morts.*” Depuis 2007, son équipe a mené d'autres expériences, dont une nouvelle série d'inoculations à des macaques. Le virus, lui, existe toujours, barricadé dans les congélateurs du laboratoire.

✓ Le virus de la grippe espagnole a été reconstitué à partir de sa séquence d'acide nucléique.





ÉTATS-UNIS, 2015

## FABRIQUER DES **CORONAVIRUS** CAPABLES D'INFECTER LES CELLULES HUMAINES

**E**ntre l'Institut de virologie de Wuhan et les coronavirus, c'est une longue histoire. Au début des années 2010, l'équipe de la chercheuse Shi Zhengli a mené plusieurs expéditions dans les immenses massifs karstiques situés au sud de la Chine. De cet endroit abritant des milliers de colonies de chauves-souris, donc un gigantesque réservoir de coronavirus, elle a rapporté des échantillons. Les prélèvements ont servi à identifier des coronavirus jusqu'alors inconnus. Mais pas seulement : certaines séquences génétiques ont aussi été utilisées par son équipe et celle de Ralph Baric, de l'université de Caroline du Nord, aux États-Unis, afin de créer de nouveaux virus à partir de différentes souches.

En 2015, l'équipe de Ralph Baric est ainsi parvenue à fabriquer une telle chimère en atta-

chant la protéine Spike du virus RsSHC014, l'un de ceux découverts par Shi Zhengli en 2013, au "squelette" d'un virus du Sras spécialement modifié pour infecter les cellules de souris. Les chercheurs ont ensuite montré que ce virus chimérique était capable d'infecter des cellules humaines cultivées *in vitro*. Inoculé à des souris, il s'est également révélé pathogène – moins que le virus du Sras non chimérique, cependant.

Ce n'est pas fini : l'équipe de Shi Zhengli a, elle, fabriqué 8 virus chimériques en 2017, aussi à l'aide du "squelette" d'un virus du Sras. Cette fois, la protéine Spike de 8 autres coronavirus nouvellement découverts y a été fixée. Pour un même résultat : certains de ces virus génétiquement modifiés se sont révélés capables d'infecter des cultures de cellules humaines.

^ Plusieurs coronavirus ont été croisés pour obtenir des chimères capables d'infecter l'humain.

✓ Des coronavirus ont circulé dans des populations de souris transgéniques afin de provoquer des mutations.



FRANCE, 2022

## RECRÉER LE SARS-COV-2 ORIGINEL

**A**près l'émergence du SARS-CoV-2, des scientifiques de l'Institut Pasteur du Laos et de l'Université nationale du Laos se sont lancés à la recherche de virus proches dans les grottes du nord de leur pays. Les prélèvements envoyés à l'Institut Pasteur de Paris ont permis à l'équipe de Marc Eloit d'en identifier trois. Et l'un d'eux a été modifié afin de comprendre le chemin évolutif menant d'un coronavirus de ce type au SARS-CoV-2, déclencheur d'une telle pandémie. "Notre hypothèse de départ était qu'un coronavirus peu pathogène avait d'abord infecté un humain, et qu'il aurait ensuite circulé silencieusement dans la population locale avant d'acquérir les mutations le rendant pathogène", explique Marc Eloit.

L'équipe a donc imité cette circulation silencieuse en inoculant le virus à une première souris transgénique humanisée. Puis elle a prélevé les poumons de cette souris et en a fait un broyat qu'elle a inoculé à une seconde souris – et ainsi de suite, en 6 transferts. Les chercheurs ont aussi réalisé la même expérience dite "de passage", le même nombre de fois, sur des cultures cellulaires humaines. Las, cela n'a pas suffi pour confirmer leur hypothèse. "Le virus a bien acquis des mutations, mais son tropisme n'a pas été modifié: il se développe préférentiellement dans le système digestif et n'a pas acquis d'affinité pour les poumons, détaille Marc Eloit. Il n'est pas non plus devenu plus pathogène, et le site de clivage de la furine qui fait la pathogénicité du SARS-CoV-2 n'est pas apparu."

CANADA, 2018

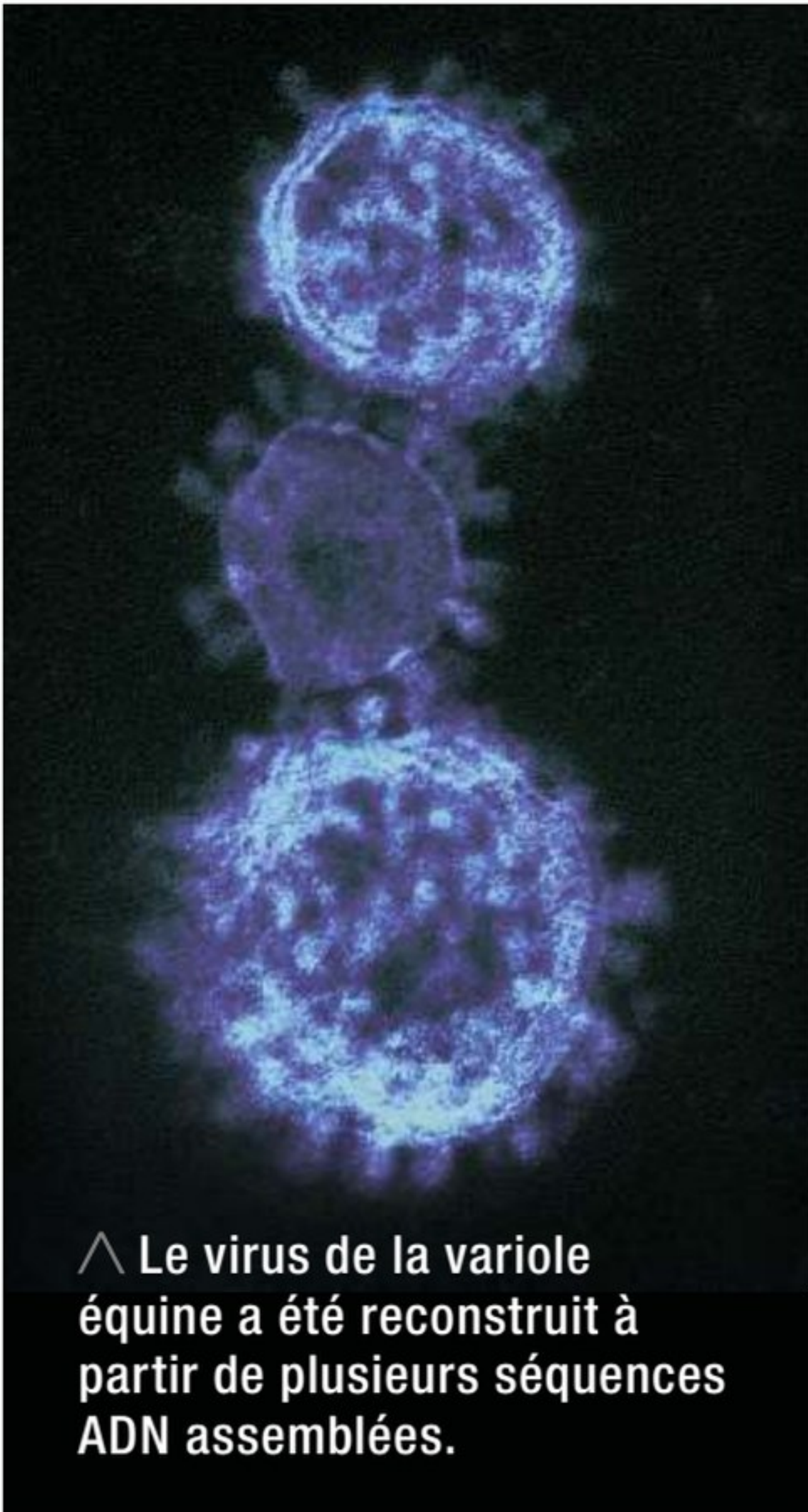
## RECONSTITUER UN VIRUS DE LA VARIOLE À PARTIR D'ÉLÉMENTS COMMANDÉS SUR LE NET

**E**n 2018, la publication des travaux réalisés par l'équipe de David Evans, de l'université d'Alberta, au Canada, a suscité l'émoi dans la communauté scientifique et bien au-delà. Le chercheur y décrit comment il est parvenu à reconstruire, par génétique inverse, le virus de la variole équine, isolé en Mongolie en 1976 et aujourd'hui disparu. Inoffensif pour l'homme, ce virus appartient à la famille des orthopoxvirus, dans laquelle figure celui de la variole humaine.

Ces orthopoxvirus sont des virus de grande taille – avec 250 gènes, contre seulement 11 pour la grippe – et de ce fait, on pensait qu'ils seraient dif-

ficiles à fabriquer artificiellement. Mais David Evans a contourné cette difficulté en découpant la séquence d'ADN en 10 morceaux qu'il a fait synthétiser indépendamment par une entreprise de biotechnologies spécialisée dans la synthèse d'ADN. Quelques jours plus tard, il a reçu par voie postale les morceaux d'ADN correspondants. Il lui a ensuite suffi de les assembler dans son laboratoire. Le chercheur prévient: il ne lui a fallu que six mois et 100 000 \$ pour y parvenir. Un coût suffisamment faible pour que des bioterroristes s'emparent de la recette... et synthétisent un virus bien plus problématique, comme celui de la variole humaine.

^ Le virus de la variole équine a été reconstruit à partir de plusieurs séquences ADN assemblées.



EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY - NIAID/ROCKY MOUNTAIN LABORATORIES/NIH - NIAID



^ Beaucoup de vaccins sont le résultat d'expériences de "gain de fonction" (ici, contre le Covid-19 en Chine).





# DES EXPÉRIENCES À VISÉE THÉRAPEUTIQUE... ET D'AUTRES À RISQUE

Si les manipulations de virus ont permis à la médecine de progresser, la création de certains “frankenvirus” suscite toutefois de légitimes inquiétudes.

**I**nsérer un ou plusieurs gènes inédits dans un virus, en fusionner d'autres pour obtenir de véritables chimères, ou encore en ressusciter certains tristement célèbres... Ces projets semblent bien hasardeux – à tel point que leurs productions sont souvent appelées “frankenvirus”, en référence au monstre créé par le Dr Frankenstein dans le roman de Mary Shelley. La littérature scientifique, elle, préfère le terme d'agents pathogènes obtenus par “gain de fonction” (GOF). Car ces modifications virales en laboratoire, loin d'être des expériences de savants fous, sont avant tout réalisées dans des buts thérapeutiques.

“Les expériences de gain de fonction consistent en une altération génétique volontaire d'un organisme vivant, ici un virus ou une bactérie, afin qu'il acquière une nouvelle fonction”, rappelle Étienne Decroly, virologue à l'université Aix-Marseille. Les progrès de la génétique permettent certes aujourd'hui des manipulations de plus en plus complexes, mais les expériences de gain de fonction sont en réalité aussi vieilles que la virologie elle-même.

Il suffit en effet de cultiver des micro-organismes en laboratoire, de les soumettre à des antibiotiques ou à des antiviraux, et de répéter l'opération à plusieurs reprises, pour réa-

liser ce qu'on appelle un “passage en série” (ou “*passaging*”, en anglais). Grâce à celui-ci, les scientifiques ont rapidement réussi à comprendre quelles mutations spontanées étaient responsables de l'obtention de souches résistantes – la résistance constituant justement un gain de fonction. Et le *passaging* peut également se faire *in vivo*, en injectant un virus à un premier animal puis en inoculant des prélèvements de ce dernier – sang, sécrétions naturelles – à un deuxième, et ainsi de suite. Résultat : les micro-organismes obtenus sont parfois plus virulents que les originaux, parfois moins. Si bien que c'est ainsi qu'ont été conçus les premiers vaccins, à virus vivants atténués.

## POTENTIEL PANDÉMIQUE

Certains des vaccins les plus récents sont aussi les résultats d'expériences de gain de fonction, obtenus grâce à des virus chimériques. C'est notamment le cas des vaccins élaborés par AstraZeneca et Johnson & Johnson contre le Covid-19. Les chercheurs ont inséré, dans l'ADN d'un adénovirus, une séquence appartenant au SARS-CoV-2 – celle codant pour la protéine Spike. L'adénovirus a donc gagné une nouvelle fonction : exprimer cette fameuse protéine Spike. Son inoculation a pour conséquence de déclencher une réponse immunitaire contre cette dernière. Et donc

de préparer l'organisme à se défendre contre le SARS-CoV-2.

Les virus chimériques sont également essentiels en thérapie génétique : pour pallier le dysfonctionnement d'un gène, un gène fonctionnel est inséré dans un virus, ce qui lui permet de pénétrer les cellules cibles qui synthétiseront alors le “gène médicament”. L'insertion ou la délétion de gènes dans des virus peut aussi permettre d'obtenir des traitements anticancéreux. C'est le cas, par exemple, de l'Imlygic®, un virus de l'herpès génétiquement modifié pour cibler spécifiquement les cellules cancéreuses. Il est utilisé depuis 2015 pour traiter les patients atteints de mélanome. Bref, bien loin des fantasmes de science-fiction, les “frankenvirus” ont permis d'innombrables avancées en médecine.

Mais voilà, toutes ces innovations thérapeutiques ont été réalisées uniquement grâce à des virus inoffensifs : non seulement ils sont rendus non-réplicatifs – c'est-à-dire qu'ils ont perdu leur faculté de se reproduire –, mais, surtout, ils dérivent de virus peu ou pas pathogènes. Tout l'inverse, par exemple, des deux expériences qui visaient à augmenter la transmissibilité du virus de la grippe aviaire (*voir p. 66*). Menées par deux équipes différentes, celle de Yoshihiro Kawaoka, aux États-Unis, et celle de Ron Fouchier, aux Pays-Bas, leurs résultats ont →

été publiés en 2012 à quelques jours d'intervalle, et ont conduit à l'apparition d'une définition plus restreinte du GOF : le Gofroc, pour GOF Research of Concern (ou "recherche préoccupante de gain de fonction"). Ce type de recherche est extrêmement inquiétant puisqu'il pourrait générer un pathogène à potentiel pandémique : un virus hautement virulent, fortement transmissible entre humains et pour lequel il n'existe aucun vaccin ni traitement...

Enfin, certaines expériences cherchent à reconstituer des virus disparus, comme celui de la grippe espagnole. Il ne s'agit pas à proprement parler de "gain de fonction" : les virus sont reconstruits quasiment à l'identique et ne gagnent donc pas de fonction nouvelle. Mais ces expériences n'en demeurent pas moins préoccupantes, dans la mesure où elles sont également menées sur des virus à potentiel pandémique, pour lesquels la population n'est plus immunisée.

### RECHERCHES CONTROVERSÉES

L'utilité de ce type de pratique – sans conteste à risque (voir p. 76 à 79) – est plus difficile à concevoir, elles sont donc très controversées. À tel point que la plupart des chercheurs qui les ont menées – et que nous avons contactés – ont refusé de répondre à nos demandes d'interview ou les ont simplement ignorées, malgré nos nombreuses relances. Néanmoins, la lecture de leurs publications détaille souvent leurs motivations et l'intérêt qu'il y a, selon eux, à mener de telles recherches. "Nos découvertes indiquent que le virus H5N1 [celui de la grippe aviaire, ndlr] a le potentiel d'évoluer directement pour devenir transmissible par gouttelettes respiratoires entre

BRUNO BOURGEOIS

## Les différentes recettes pour créer un "frankenvirus"

### Le passage en série ou "passaging"

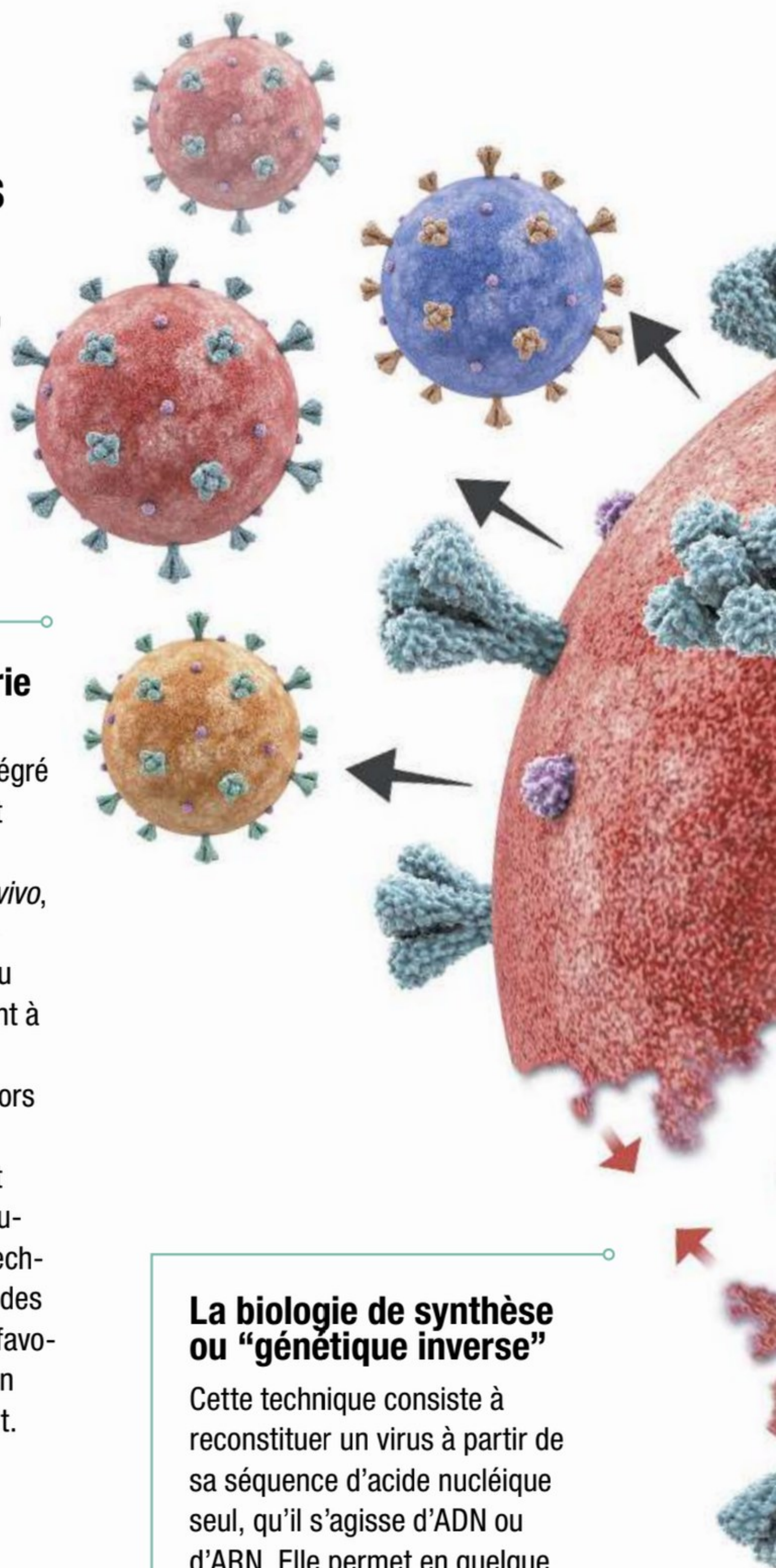
Le virus est d'abord intégré dans un environnement choisi, que ce soit en culture cellulaire ou *in vivo*, éventuellement en présence d'antibiotiques ou d'antiviraux. S'il parvient à s'y répliquer, les organismes obtenus sont alors prélevés et réintroduits dans un environnement identique. Répétée à plusieurs reprises, cette technique permet d'obtenir des mutations spontanées favorables à la multiplication dans cet environnement.

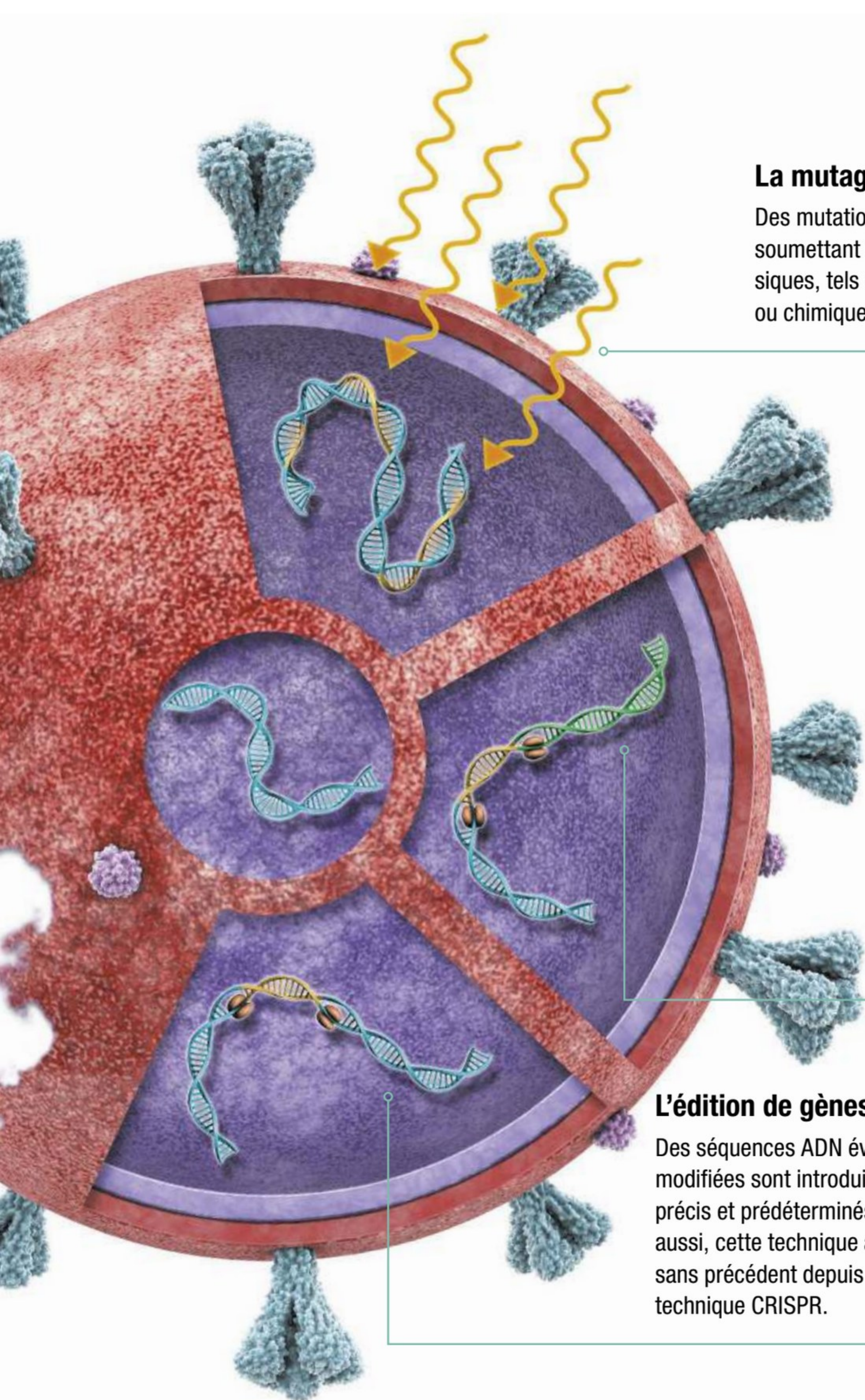
### La biologie de synthèse ou "génétique inverse"

Cette technique consiste à reconstituer un virus à partir de sa séquence d'acide nucléique seul, qu'il s'agisse d'ADN ou d'ARN. Elle permet en quelque sorte de "ressusciter" des virus aujourd'hui disparus.

mammifères et présente donc un risque de devenir pandémique chez l'homme. L'identification des mécanismes nécessaires à cette transmission peut avoir une valeur pronostique et diagnostique pour améliorer notre préparation aux pandémies", peut-on lire en conclusion de la publication de Ron Fouchier.

Celle de Yoshihiro Kawaoka invoque la même raison : "Nos résultats soulignent la nécessité de se préparer à des pandémies potentielles causées par des virus de grippe aviaire et aideront les personnes effectuant une surveillance dans les régions où circulent des virus H5N1 à reconnaître les principaux motifs





### La mutagenèse induite

Des mutations aléatoires sont obtenues en soumettant un virus à des procédés physiques, tels qu'un rayonnement ionisant ; ou chimiques, avec des agents alkylants.

### L'ADN recombinant

Plusieurs morceaux d'ADN provenant de différents organismes sont assemblés pour obtenir un virus chimérique. Réalisée en laboratoire via des outils tels que CRISPR-Cas9, sortes de ciseaux moléculaires qui peuvent générer des cassures sur des sites d'ADN spécifiques, cette recombinaison peut également se produire naturellement, lorsque deux virus infectent en même temps un même hôte.

### L'édition de gènes

Des séquences ADN éventuellement modifiées sont introduites à des endroits précis et prédéterminés du génome. Là aussi, cette technique a connu un essor sans précédent depuis l'apparition de la technique CRISPR.

*qui prédisent leur potentiel pandémique, ce qui éclairera le développement, la production et la distribution de contre-mesures efficaces.”*

Autrement dit, en améliorant nos connaissances sur ces virus, ces travaux permettraient de mieux se préparer aux pandémies à venir. Darwyn Kobasa, l'un des chercheurs qui a

participé à la reconstruction du virus de la grippe espagnole au milieu des années 2000, a quant à lui accepté de nous répondre. Il est du même avis : *“Nos travaux nous ont permis de comprendre pourquoi le virus de la grippe espagnole était si virulent, en particulier chez les personnes jeunes, alors que la grippe est habituelle-*

*ment peu sévère chez eux. Et cela nous donne l'occasion de savoir quoi chercher dans les virus grippaux qui circulent actuellement chez les animaux et chez l'homme.”* Reste que manipuler ce genre de virus hautement pathogènes pourrait bien la provoquer, cette pandémie que l'on cherche à tout prix à éviter... →



# UN ACCIDENT EST-IL POSSIBLE ?

Les virus sont manipulés dans des laboratoires classés en fonction de leur niveau de sécurité. Reste que pour certaines catégories, les critères sont flous... et que le risque zéro n'existe pas.

**T**ravailler avec des micro-organismes hautement pathogènes n'est pas sans danger.

Au cours de l'histoire, plusieurs scientifiques l'ont payé de leur vie : William Brebner, en 1932, après avoir été mordu par un singe. Dora Lush, en 1943, après s'être accidentellement piquée avec une aiguille. Ou Janet Parker, en 1978, la dernière personne au monde à décéder de la variole. Son laboratoire était situé au-dessus de celui de virologie : le virus s'est propagé par voie aérienne dans les conduits contenant les câbles téléphoniques.

ANDREW HARNIK/AP/SIPA - GEORGE MASON UNIVERSITY

Pour réduire ces risques, des laboratoires spécialisés ont vu le jour.

Ils sont dits P2, P2+, P3, P3+ et P4 selon leurs niveaux de sécurité. Les plus protégés d'entre eux, les P4, ont commencé à apparaître à la fin des années 1960. Aujourd'hui, on en dénombrait 52 dans le monde, dont 3 en France. *“Trois sont également en construction et 14 autres ont été planifiés”*, précise Gregory Koblenz, directeur du programme de biodéfense à l'université George-Mason, aux États-Unis.

Sauf que, quel que soit le type de laboratoire, le risque zéro n'existe pas. Ces vingt dernières années, plusieurs accidents ont ainsi eu lieu à travers le monde. Rien qu'aux États-Unis, un rapport du *Centers for Disease Control and Preven-*

*tion* (CDC), publié en 2013, faisait état de 11 infections contractées en laboratoire entre 2004 et 2010 – dont 7 en P2 et 4 en P3.

## MIS À L'ISOLEMENT

Dès lors, faut-il s'inquiéter qu'un accident puisse aboutir à la fuite d'un virus génétiquement modifié dans la nature ? *“Les seuls accidents possibles en P4 sont ceux liés à un outil coupant ou piquant qui traverserait les gants ou la combinaison. Mais cela ne passe pas inaperçu, et le chercheur est alors immédiatement mis à l'isolement pour toute la durée d'incubation du virus*, explique Sylvain Baize, qui dirige le Centre national des

## Comment un virus peut-il s'échapper d'un laboratoire ?

- Procédures de sécurité non respectées
- Mauvais étiquetage des échantillons
- Fiole contaminée brisée
- Libération délibérée d'un pathogène
- Coupure ou piqûre avec une seringue contaminée
- Morsure, griffure ou piqûre par un animal infecté
- Fuite d'un animal infecté

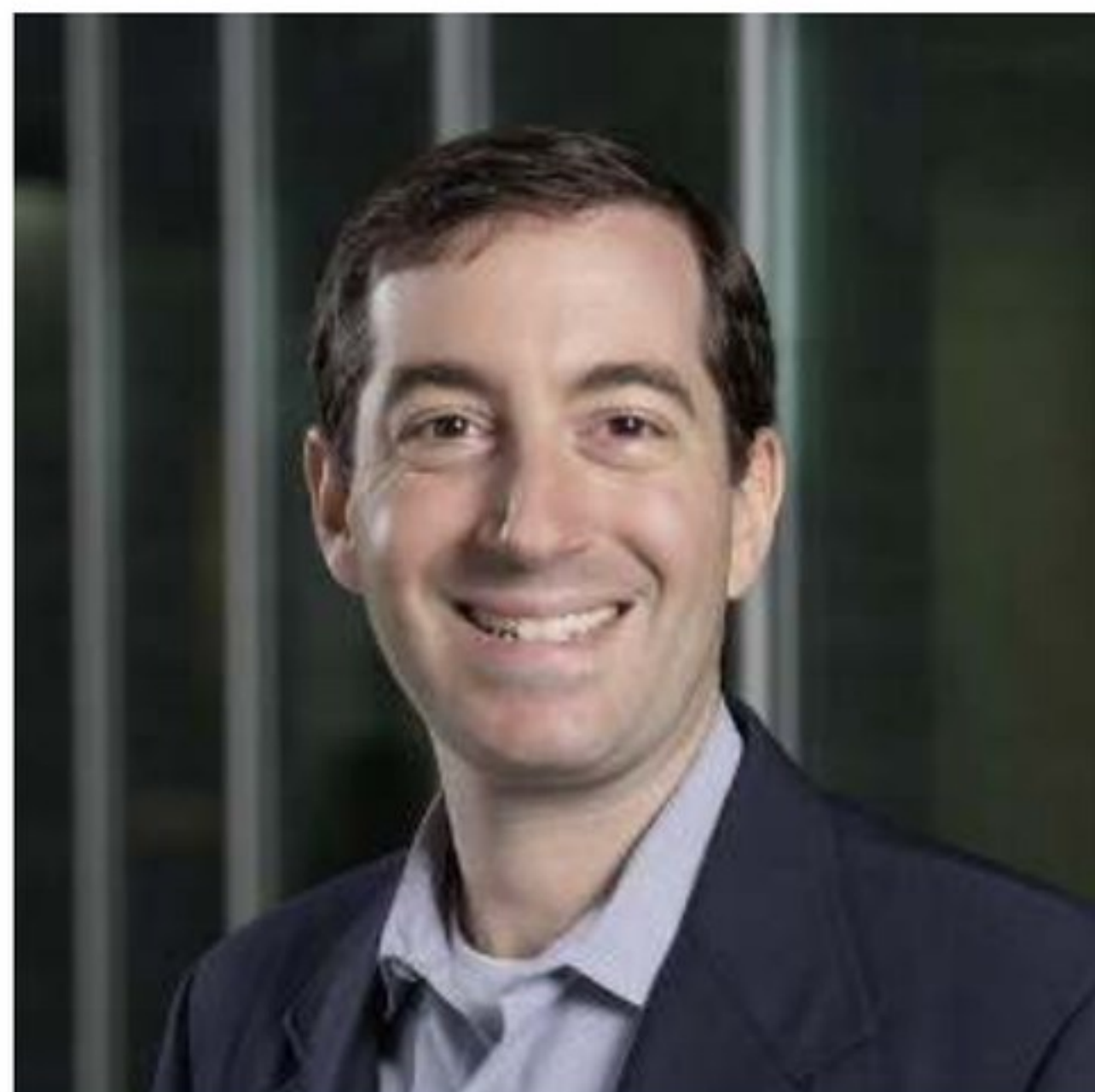


fièvres hémorragiques à l'Institut Pasteur/Inserm et travaille en laboratoire P4. *Ces accidents ne représentent donc pas un risque pour la population.* Bien sûr, le chercheur ou l'institut peut décider de taire l'incident...

Reste que ces infrastructures ne lésinent pas sur les règles de sécurité: le laboratoire contient plusieurs sas de décontamination. Les chercheurs doivent porter deux paires de gants scotchés aux poignets ainsi qu'une combinaison complètement hermétique, sous pression positive, afin que l'air n'y pénètre pas en cas de déchirure. Ils ne doivent en aucun cas respirer l'air ambiant: un câble leur fournit de l'oxygène. Tout le matériel est ensuite stérilisé par autoclave – une boîte fermée hermétiquement sous l'effet de la pression – et les déchets sont traités par plusieurs procédés. À ces précautions s'ajoutent encore d'autres mesures de biosécurité, afin de limiter les malveillances volontaires: scientifiques triés sur le volet, caméras de surveillance, badges d'identification, etc.

Le hic, c'est que certains laboratoires affichant des niveaux de sécurité inférieurs peuvent également manipuler des virus dangereux. *“À la différence des P4, pour lesquels l'OMS a édicté des recommandations, il n'existe pas de directives internationales sur les mesures de sécurité à suivre pour les P3+.* D'ailleurs, la plupart des pays n'ont pas de directives du tout, souligne Gregory Koblentz. *Il y a donc beaucoup de variations entre les laboratoires P3+.* Certains s'approchent de très près du niveau de sécurité P4, quand d'autres ont seulement ajouté quelques éléments supplémentaires aux normes des P3. Dans ces derniers, *“tout est*

*À la différence des P4, il n'y a pas de directives internationales sur les mesures de sécurité à suivre pour les laboratoires P3+*



GREGORY KOBLENTZ  
Directeur du programme  
de biodéfense à l'université  
George-Mason (États-Unis)

*fait pour éviter la mise en aérosols des pathogènes, mais on y respire néanmoins l'air du laboratoire”,* révèle Sylvain Baize.

Pour déterminer dans quel type de laboratoire quels pathogènes peuvent être manipulés, trois critères sont pris en compte: leur virulence, leur transmissibilité et le fait qu'il existe ou non des traitements et/ou des vaccins. *“Les virus responsables des fièvres hémorragiques, comme Ebola, et dont la mortalité est très élevée, sont uniquement manipulés en P4,* détaille Sylvain Baize. *Les agents pathogènes qui possèdent un traitement ou un vaccin, ou qui sont peu transmissibles, peuvent être étudiés en P3. Quant au virus de la rougeole, il peut être travaillé en P2+ car, même s'il est très contagieux, il est peu mortel et un vaccin existe.”*

Et les “frankenvirus”, c'est-à-dire les virus créés ou modifiés par l'humain (voir p. 66 à 71)? Tout dépend... Les équipes qui ont reconstruit le virus de la grippe espagnole ont travaillé en laboratoire P4. Celles qui ont rendu transmissible entre mammifères le virus de la grippe aviaire ont travaillé en P3+. Et celle qui a créé une chimère de coronavirus, dans un simple laboratoire P3.

Or, au sein de ces derniers, *“la sécurité est davantage dépendante de facteurs humains, pointe le virologue. Si la maintenance du système de ventilation des hottes est mal effectuée, si un chercheur maladroit laisse tomber un tube ou s'il ne positionne pas bien son masque, il peut être exposé à un pathogène et cela peut passer totalement inaperçu.”* L'infecté peut en effet ne pas se rendre compte de l'accident, ou le garder sous silence. Et s'il est asymptomatique tout en étant contagieux, ou que ses symptômes se déclarent tardivement, le risque d'épidémie n'est pas nul. Ainsi, en extrapolant les chiffres du CDC, Lynn Klotz, chercheur au Centre pour le contrôle des armes et la non-prolifération, aux États-Unis, a calculé que le risque de pandémie lié à la manipulation de virus grippaux améliorés ou ressuscités s'élevait à 2,37 % au bout de 5 ans!

## RÉGLEMENTATION RENFORCÉE

La menace est faible mais bien réelle. Ce qui pousse certains à militer pour une réglementation plus stricte des frankenvirus. Néanmoins, *“le renforcement de la réglementation peut avoir des effets pervers,* souligne Bruno Canard, virologue à l'université d'Aix-Marseille. *En 2013, les États-Unis ont mis en place un moratoire sur les recherches de gain de* →

## Des accidents de laboratoires... pas si rares

Piqûres de seringue, tubes brisés, animaux échappés... Depuis le début des années 2000, au moins une trentaine d'accidents de ce genre ont eu lieu à travers le globe dans des laboratoires P2, P3 ou P4. Heureusement, aucun n'a mené à une épidémie.

*fonction. Or il est fort probable que celui-ci ait eu pour effet de délocaliser la recherche dans des pays offrant une réglementation plus souple.* Alors, pourquoi ne pas mettre en place une agence internationale? *“Ce serait une excellente idée, mais les biotechnologies étant devenues un domaine de concurrence stratégique, notamment entre les États-Unis et la Chine, la mise en place d'une telle agence me semble très hypothétique”*, argue Klaus-Peter Saalbach, expert en biosécurité et en sciences politiques à l'université d'Osnabrück, en Allemagne. D'autres, enfin, appellent à l'arrêt pur et simple de ce type d'expériences.

### PLUS DE PEUR QUE DE MAL

*“Toutes les recherches de gain de fonction ne sont pas dangereuses, tempère Marc Eloit, virologue à l'Institut Pasteur. Et quand on parle d'expériences problématiques, on vise toujours les deux ou trois mêmes laboratoires qui cherchent délibérément à créer des virus pathogènes.”*

Parfois, certaines défraient la chronique alors qu'elles ne représentent aucun danger réel. C'est notamment ce qui est arrivé à l'automne 2022 : plusieurs médias font alors état de la construction d'un virus chimérique, élaboré à l'université de Boston. Celui-ci, fabriqué à partir de plusieurs variants du SARS-CoV-2, était létal à 80 % chez les souris qui y ont été exposées. Sauf qu'en réalité, les rongeurs avaient été génétiquement modifiés pour mourir dans 100 % des cas face au

ANTOINE DAGAN - DR



*Les virus responsables des fièvres hémorragiques, comme Ebola, et dont la mortalité est très élevée, sont uniquement manipulés en P4*

**SYLVAIN BAIZE**

Directeur du Centre national des fièvres hémorragiques à l'Institut Pasteur/Inserm

### ROYAUME-UNI, 2007

Une épidémie de fièvre aphteuse bovine se déclare dans plusieurs élevages, entraînant l'abattage de plus de 2 000 animaux. L'enquête a conclu que le virus s'était très probablement échappé en passant par les canalisations du laboratoire P4 de l'Institut pour la santé animale, à Pirbright.

### RUSSIE, 2004

La chercheuse Antonina Presnyakova, qui travaillait sur un vaccin pour lutter contre Ebola dans le laboratoire P4 de Novossibirsk, est décédée après avoir contracté le virus. Elle s'était piquée avec une seringue après avoir prélevé du sang sur des cochons d'Inde infectés.

### TAÏWAN, 2003

Un chercheur de l'Institut de médecine préventive de Taipei est hospitalisé suite à une contamination au Sras. Il aurait été infecté par le virus dans le laboratoire P4 de Taipei alors qu'il nettoyait un liquide s'écoulant d'un échantillon. Une enquête a montré que le chercheur travaillait sans les protections requises.

### FRANCE, 2014

L'Institut Pasteur a déclaré à l'ANSM avoir perdu la trace de 2 349 tubes contenant des fragments du virus du Sras. Stockés dans un congélateur de leur laboratoire P3 – qui était destiné à être mis au rebut –, les échantillons ont peut-être été jetés avec.

### AUSTRALIE, 2011

Dix jours après avoir réalisé, en laboratoire P2, une expérience consistant à infecter des moustiques avec le virus de la dengue, un chercheur est hospitalisé pour cause de... dengue. Si le mode de contamination n'a pas été totalement élucidé, le chercheur se souvient avoir été piqué par un moustique qui s'était échappé.

variant originel. La chimère était donc moins dangereuse. De plus, *“la quasi-totalité de la population mondiale étant immunisée contre le SARS-CoV-2, la fuite d'un virus construit à partir de variants constitue un risque bien moindre que, par exemple, reconstituer le virus de la grippe espagnole, contre lequel plus personne n'est immunisé; ou chercher à faire franchir la barrière des espèces à un virus animal”*, sou-

ligne Étienne Decroly, virologue à l'université Aix-Marseille.

Tous les “frankenvirus” n'ont donc pas le même potentiel dévastateur. La difficulté consiste à évaluer la balance bénéfices/risques. Problème: selon les chercheurs, le curseur n'est pas placé au même niveau. Ceux qui ont travaillé à modifier le virus de la grippe aviaire avancent, par exemple, que leurs travaux sont utiles à la lutte contre les

pandémies. Ce que conteste Bruno Canard: *“Cela revient à rechercher une fuite de gaz avec un briquet.”* Et quand Darwyn Kobasa avance le même argument concernant sa reconstitution du virus de la grippe espagnole, Marc Eloit pointe: *“C'est l'exemple parfait d'une expérience suffisamment dangereuse pour que l'on s'interdise de la faire.”* Espérons que les virus ne trancheront pas le débat.





# L'ORIGINE DU **SARS-COV-2** RESTE UN MYSTÈRE

Si des accidents de laboratoire sont déjà survenus, aucun ne semble avoir provoqué d'épidémie. Ce qui n'empêche pas l'origine du Covid-19 de faire toujours débat.

**C'**est la question qui vient inévitablement à l'esprit quand on se penche sur les virus génétiquement modifiés: le SARS-CoV-2, à l'origine de la pandémie mondiale de Covid-19, est-il un virus obtenu artificiellement? Ou, au contraire, est-il naturellement passé de la chauve-souris à l'humain, éventuellement via un hôte intermédiaire?

La seconde hypothèse semble la plus probable puisque la quasi-totalité des épidémies qui ont décimé l'humanité étaient au départ des zoonoses qui ont naturellement franchi la barrière des espèces. Un phénomène que les scientifiques appellent "spillover". Ainsi, le réservoir naturel de la peste se trouve chez les rongeurs, le virus de la variole humaine dérive probablement d'un virus bovin, celui de la grippe espagnole d'un virus aviaire, celui du sida d'un virus de chimpanzé... Quant au SARS-CoV-1 et au MERS-CoV, deux coronavirus respectivement responsables d'épidémies en 2002-2003 et 2012-2013, ils trouvent leur origine chez des chauves-souris.

Pour le SARS-CoV-1, on a même identifié un hôte intermédiaire: il s'agit de la civette palmiste masquée, un mammifère vendu sur le

marché de Canton, en Chine, où étaient justement apparus les premiers cas de Sras en 2002. C'est ce précédent, et le fait que la majorité des premiers cas de Covid-19 sont apparus chez des personnes ayant fréquenté le marché de Wuhan, également en Chine, qui ont conduit à soupçonner qu'un événement naturel de spillover y avait eu lieu. Certes, des virus se sont déjà échappés de laboratoires de recherche par le passé (*voir p. 76 à 79*), mais aucun de ces accidents n'a jamais conduit à une épidémie.

Pour autant, plusieurs coïncidences alimentent la thèse d'un virus artificiel. D'abord, Wuhan abrite un institut de virologie doté de plusieurs laboratoires P2 et P3 et, depuis 2015, d'un P4. Y travaille Shi Zhengli, une spécialiste mondialement reconnue des coronavirus qui, au cours des dernières années, s'est rendue à plusieurs reprises dans les grottes du sud de la Chine afin d'y prélever des échantillons sur des chauves-souris. Leur analyse a abouti au séquençage de plusieurs coronavirus jusqu'alors inconnus – dont certains ont été utilisés pour produire des virus chimériques (*voir p. 66 à 71*) – ainsi que du RaTG13, un virus similaire à 96 % au SARS-

## ∨ > TROIS HYPOTHÈSES

Le virus a pu se transmettre naturellement via un hôte présent sur le marché de Wuhan; ou avoir été prélevé par l'Institut de virologie de Wuhan (*ci-contre*) et s'en être échappé; ou encore y avoir été fabriqué.







CoV-2. Ce dernier a d'ailleurs été identifié dans une mine où des cas mortels de pneumonie ont été enregistrés en 2012.

### LE DÉBAT SCIENTIFIQUE A PRIS UNE TOURNURE POLITIQUE

De quoi, dès le début de la pandémie, alimenter la controverse et rendre le débat extrêmement virulent. Surtout qu'il a dépassé la sphère scientifique pour devenir politique, sur fond de conflit entre la Chine et les États-Unis. *“La fuite du laboratoire de Wuhan est une invention de l'ex-président américain Donald Trump. Mais il n'a que peu de compétences en virologie, voire aucune”*, explique Luis

Enjuanes, virologue au Centre national de biotechnologie de Madrid, en Espagne. En mars 2020, le chercheur avait cosigné, avec 26 autres spécialistes, une tribune dans *The Lancet*, condamnant les théories conspirationnistes autour d'une origine artificielle du Covid-19.

Trois ans plus tard, le virologue espagnol n'a pas changé d'avis. Un sentiment partagé par la plupart des chercheurs. *“La majorité de la communauté scientifique considère que l'origine du SARS-CoV-2 est naturelle et que le débat est clos. En particulier depuis que deux études publiées dans Science en juillet 2022 ont confirmé que le marché de Wuhan constituait* →

*l'épicentre de l'épidémie*”, résume Étienne Decroly, virologue à l'université d'Aix-Marseille. Néanmoins, deux éléments importants manquent encore pour confirmer définitivement l'hypothèse naturelle: *“D'abord, contrairement aux épidémies provoquées par le SARS-CoV-1 et le MERS-CoV, on n'a pas retrouvé le virus progéniteur du SARS-CoV-2. Ni sur un quelconque hôte intermédiaire, ni dans des populations de chauves-souris, reconnaît le chercheur. Et les virus les plus proches que l'on connaît sont identiques à 96 %, ce qui ne suffit pas pour être à l'origine de la pandémie. Ensuite, il y a l'énigme de l'apparition du site de clivage de la furine.”*

#### UN PROGRAMME MILITAIRE FINALEMENT ABANDONNÉ

Ce site de clivage de la furine est une petite séquence d'acide aminé présente sur la protéine Spike du SARS-CoV-2. Lorsqu'elle entre en contact avec la furine, une enzyme naturellement présente dans notre organisme, la Spike se sectionne en deux sous-entités. La première s'agrippe aux récepteurs ACE2 – la porte d'entrée du virus dans les cellules humaines – et la seconde permet la fusion de la membrane du virus avec celle de ces dernières. C'est donc ce site de clivage de la furine qui confère au SARS-CoV-2 sa capacité à pénétrer et à infecter nos cellules, autrement dit sa pathogénicité.

Fait troublant, aucun des autres coronavirus du même sous-genre que le SARS-CoV-2 ne possède ce site de clivage de la furine... Certes, son apparition naturelle est possible. Cela s'est d'ailleurs déjà produit chez des virus de la grippe aviaire. Mais certains arguent que



*On n'a pas retrouvé le virus progéniteur du SARS-CoV-2. Ni sur un quelconque hôte intermédiaire, ni dans des populations de chauves-souris*



ÉTIENNE DECROLY

Virologue à l'université d'Aix-Marseille.



ce site de clivage de la furine a été ajouté artificiellement et pointent du doigt un programme en particulier: le projet Defuse, dont l'existence a été révélée à l'automne 2021.

Ce programme prévoyait précisément l'introduction de sites de clivage spécifiques aux humains dans des coronavirus de chauves-souris... Il a fait l'objet d'une demande de financement à la Darpa, une agence du département de la Défense des États-Unis, via EcoHealth Alliance, une organisation non-gouvernementale qui a étroitement collaboré avec l'Institut de virologie de Wuhan. Le programme a finalement été retoqué par la Darpa. *“L'existence du projet Defuse est troublante, confesse Étienne Decroly. Mais cela ne constitue pas une preuve que ces travaux ont été menés à terme.”*

En tout cas, cette révélation ne convainc pas les ardents défenseurs de l'hypothèse naturelle, qui pointent la structure même du SARS-CoV2: parmi les coronavirus connus, aucun n'a pu éventuellement servir de “squelette” à ce type d'expérience. *“Par ailleurs, il est extrêmement difficile de concevoir quelque chose en laboratoire sans laisser une ‘cicatrice’. De ce fait, il est absolument clair que le SARS-CoV-2 n'a pas été génétiquement modifié en laboratoire”,* insiste Michael Imperiale, professeur de microbiologie et d'immunologie à l'université du Michigan, aux États-Unis. *“Les méthodes classiques auraient effectivement laissé une trace”,* confirme Marc Eloit, virologue à l'Institut Pasteur. *“La création de ce virus en laboratoire est impossible”,* assène également Stanley Perlman, professeur de microbiologie et d'immunologie à l'université d'État de l'Iowa, aux États-Unis.

Il existe toutefois une troisième possibilité, à laquelle les trois chercheurs ne ferment pas totalement la porte: celle de l'accident de laboratoire qui aurait laissé échapper un virus... naturel! *“C'est hautement improbable mais pas impossible”,* reconnaît Stanley Perlman. *“On ne peut pas l'exclure définitivement”,* abonde Michal Imperiale. Ce à quoi Marc Eloit ajoute: *“Une fuite de laboratoire n'est même pas nécessaire. Il suffit qu'un chercheur infecté sur le terrain se soit rendu sur le marché.”* En résumé, *“trois ans après le début de la pandémie, les origines du virus ne sont toujours pas élucidées”,* conclut Jesse Bloom, spécialiste de l'évolution des virus au Fred Hutchinson Cancer Center, aux États-Unis. Et il est fort possible qu'elles ne le soient jamais.

HISTOIRE ET CIVILISATIONS

LES CAHIERS  
SCIENCE & VIE

# LES CAHIERS SCIENCE & VIE



DOMAINE  
DES DIEUX ET  
DES MONSTRES

LA SCIENCE  
À L'ÉPREUVE  
DE L'ALTITUDE

L'INVENTION  
DE L'ALPINISME

# MONTAGNE

## LA CONQUÊTE DES CIMES

L'ACTU FACE AU PASSÉ

NOUVEAU

Arménie,  
une tragédie  
séculaire



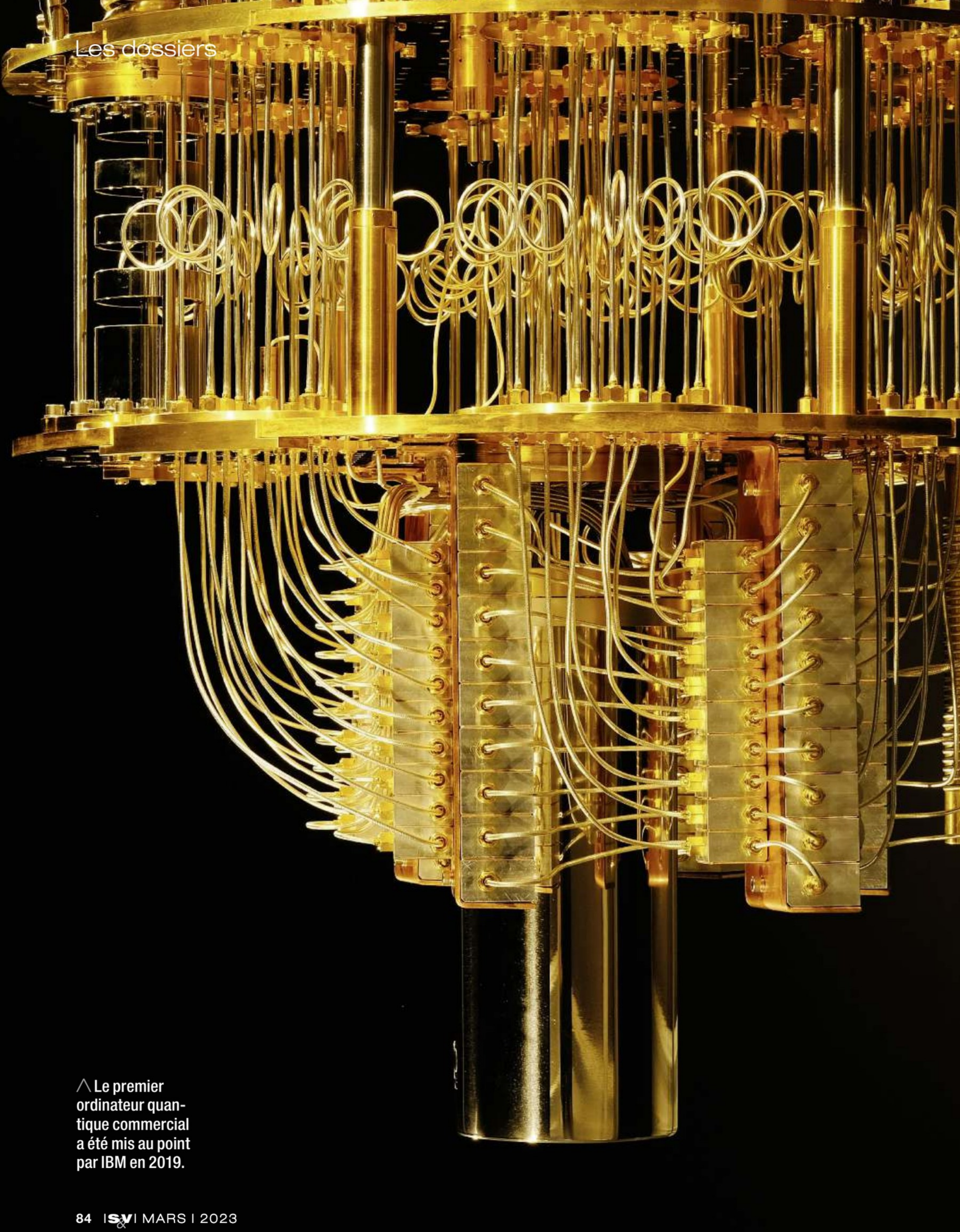
VENTE ET ABONNEMENT

Actuellement en vente  
en ligne ou chez votre marchand de journaux

Kiosque  
Mag

Disponible sur  
kiosquemag.com





^ Le premier ordinateur quantique commercial a été mis au point par IBM en 2019.



# La course à la cryptographie post-quantique

Les capacités de calcul supposées de l'ordinateur quantique ne sont pas seulement fascinantes. Elles pourraient servir à craquer la totalité des codes qui protègent notre quotidien. Les informaticiens étudient de possibles parades.

Cent ans après le premier télégramme diplomatique entre l'ambassade de France aux États-Unis et Paris, la France a transmis son premier télégramme diplomatique en cryptographie post-quantique !” C’est avec ce tweet, posté le 1<sup>er</sup> décembre 2022, qu’Emmanuel Macron a mis en lumière un enjeu stratégique : la sécurisation des communications dans un contexte d’avènement probable de l’ordinateur quantique. Car un tel ordinateur pourrait craquer en un temps record les meilleurs protocoles de chiffrement actuels, qui sécurisent les transferts de données sur internet, dont ceux des banques et des armées.

GRAHAM CARLOW/IBM - M. TUMELAIRE

Aujourd’hui, l’une des techniques de chiffrement les plus répandues est le protocole RSA,

qui repose sur la factorisation (décomposition) d’un très grand nombre. Pour déverrouiller les données, il faut trouver les deux nombres premiers dont le produit correspond au nombre en question. “Le principe de la cryptographie est de poser un problème mathématique très difficile à résoudre pour quiconque intercepte le message, excepté pour le destinataire, qui possède une clé privée lui permettant de résoudre ce problème facilement”, résume Pierre-Alain Fouque, professeur à l’université de Rennes. Dans le cas d’un message, Pensez à l’analogie de la clé et du cadenas : il est facile

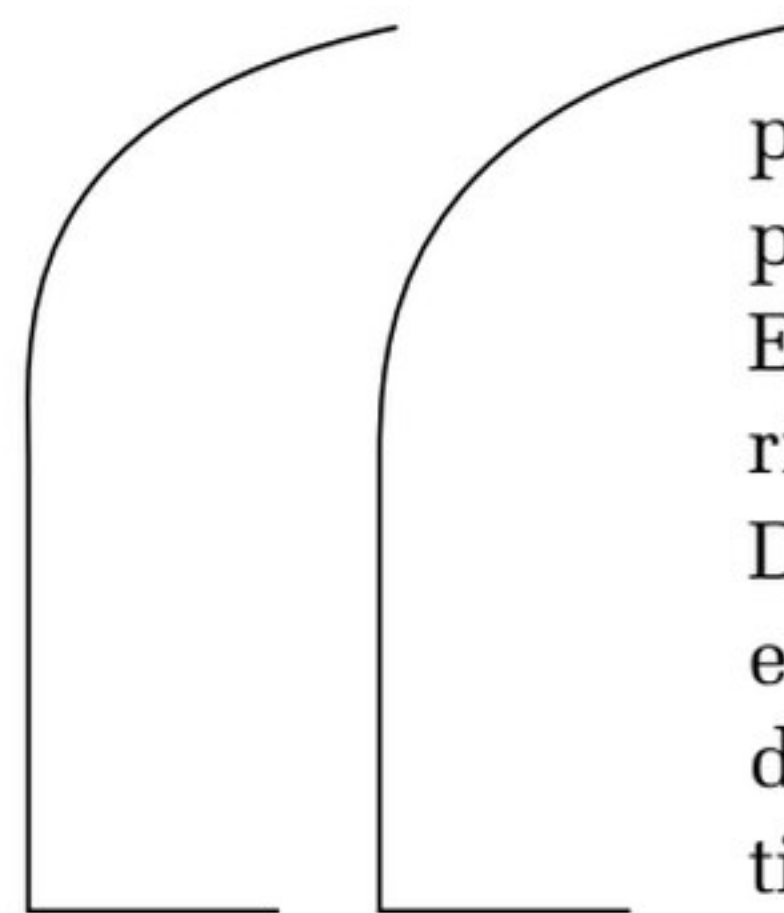
d’ouvrir un cadenas avec votre clé, mais fort malaisé pour un malfaiteur de reproduire la clé en étudiant le cadenas. Dans le cas du RSA, l’opération est si difficile qu’un ordinateur actuel, même très puissant, mettrait des

## Repères

L’ordinateur quantique repose sur les qubits, de petites briques de calculs élémentaires dans une superposition d’états 0 et 1. De quoi effectuer des opérations bien plus rapidement.

millions d’années à l’exécuter.

Seulement voilà : en 1994, le mathématicien Peter Shor a démontré par un algorithme qu’un ordinateur quantique →



pourrait craquer en très peu de temps n'importe quelle factorisation de nombres entiers. Et ce n'est pas tout. Une variante de cet "algorithme de Shor" peut casser le protocole Diffie-Hellman, autre algorithme dominant en cryptographie qui, lui, repose sur le calcul de logarithmes discrets sur des courbes elliptiques. Les protocoles de chiffrement actuels sont donc menacés.

*L'ordinateur quantique ? Une question de temps, on ne peut juste pas prédire quand exactement*

Les algorithmes existent, reste à disposer de la puissance de calcul nécessaire pour les faire tourner. Autrement dit, il faut construire un ordinateur quantique... "Les progrès se multiplient depuis le début des années 2010, lorsque les géants de la tech se sont lancés dans la course", resitue Philippe Gaborit, chercheur en informatique à l'université de Limoges. La société IBM détient

ainsi actuellement un record avec une machine alignant 433 qubits, ces briques élémentaires qui permettront une puissance de calcul décuplée. Pour casser les clés RSA actuelles, un ordinateur quantique devrait aligner environ 10 000 de ces qubits, ce qui, selon la puissante Agence américaine de sécurité (NSA), pourrait se produire entre 2030 et 2040. "C'est une question de temps, on ne peut juste pas prédire quand exactement", précise Damien Stehlé, professeur à l'École normale supérieure de Lyon.



**DAMIEN STEHLÉ**  
Professeur à l'École normale supérieure de Lyon

Et 2040, ce n'est pas si loin ! "Pour sécuriser les cartes bancaires, qui se périment tous les deux ans, on a le temps de voir venir. Mais pour d'autres secteurs, il y a déjà urgence", assure Sylvain Guilley, professeur à Télécom Paris et directeur technique de la société de cryptographie Secure-IC. C'est le cas des véhicules, dont les systèmes de communication doivent être certifiés pour vingt ans car les possibilités de mises à jour ultérieures sont faibles. Quant aux échanges diplomatiques ou aux données secret-défense, qui doivent parfois rester indéchiffrables pendant cinquante ans, il est peut-être même déjà trop tard : "Un acteur étatique peut dès à présent enregistrer certaines communications en vue de les décrypter ultérieurement, quand l'ordinateur quantique sera prêt", précise le spécialiste.

DR - MIKO KONTENTE

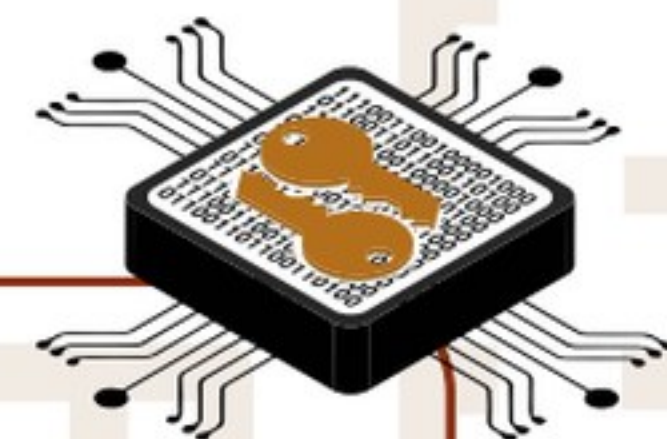
C'est dans ce contexte qu'intervient le tweet d'Emmanuel Macron. Car si le contenu du fameux câble diplomatique n'a rien d'exceptionnel – un accord de coopération en matière de recherche entre la France et son partenaire américain –, il est crypté à l'aide de deux protocoles dits "post-quantiques". Le premier, FrodoKEM sert au chiffrement, c'est-à-dire à rendre la communication illisible par une tierce personne. Le second, Crystals-Dilithium, permet l'authentification, afin de s'assurer que le message provient de la bonne personne. Ces algorithmes proposent de nouveaux problèmes hors de portée des ordinateurs classiques, mais aussi des ordinateurs quantiques. Ils font partie des protocoles post-quantiques salués par le concours du Nist, l'Institut américain des normes et de la technologie.

#### À L'ÉPREUVE DE L'IMPLEMENTATION

Des 82 protocoles proposés par des équipes du monde entier et mis à l'épreuve pendant cinq ans, l'institut en a sélectionné 4 en juillet dernier, réputés inviolables : un algorithme dans la catégorie "Chiffrement", Crystals-Kyber, et trois dans la catégorie "Authentification", Crystals-Dilithium, Falcon et Sphincs+. Les trois premiers sont basés sur un même principe mathématique, celui des réseaux euclidiens (voir schéma ci-dessus). Le quatrième algorithme retenu par le Nist, Sphincs+, est quant à lui basé sur une fonction dite "de hachage". Tous les quatre vont être certifiés par le Nist et pourraient, à terme, devenir les prochaines normes de la cryptographie mondiale. De son côté, FrodoKEM faisait, lui, partie des algorithmes finalistes, mais n'a pas été retenu.

Alors quoi ? Le danger est-il déjà écarté avant d'être apparu ? Pas si sûr. Car il est très difficile de garantir l'invulnérabilité absolue d'un schéma cryptographique. La preuve : deux schémas retenus parmi les "finalistes" du Nist, Rainbow et Sike, ont été successivement craqués par un algorithme en février et juin 2022. "Sike reposait sur un principe mathématique relativement jeune : les graphes d'isogénies. La chute de Rainbow est plus surprenante, car le schéma était basé sur un principe mature, les polynômes multivariés", détaille Pierre-Alain Fouque. "Même si

# Diverses méthodes de chiffrement



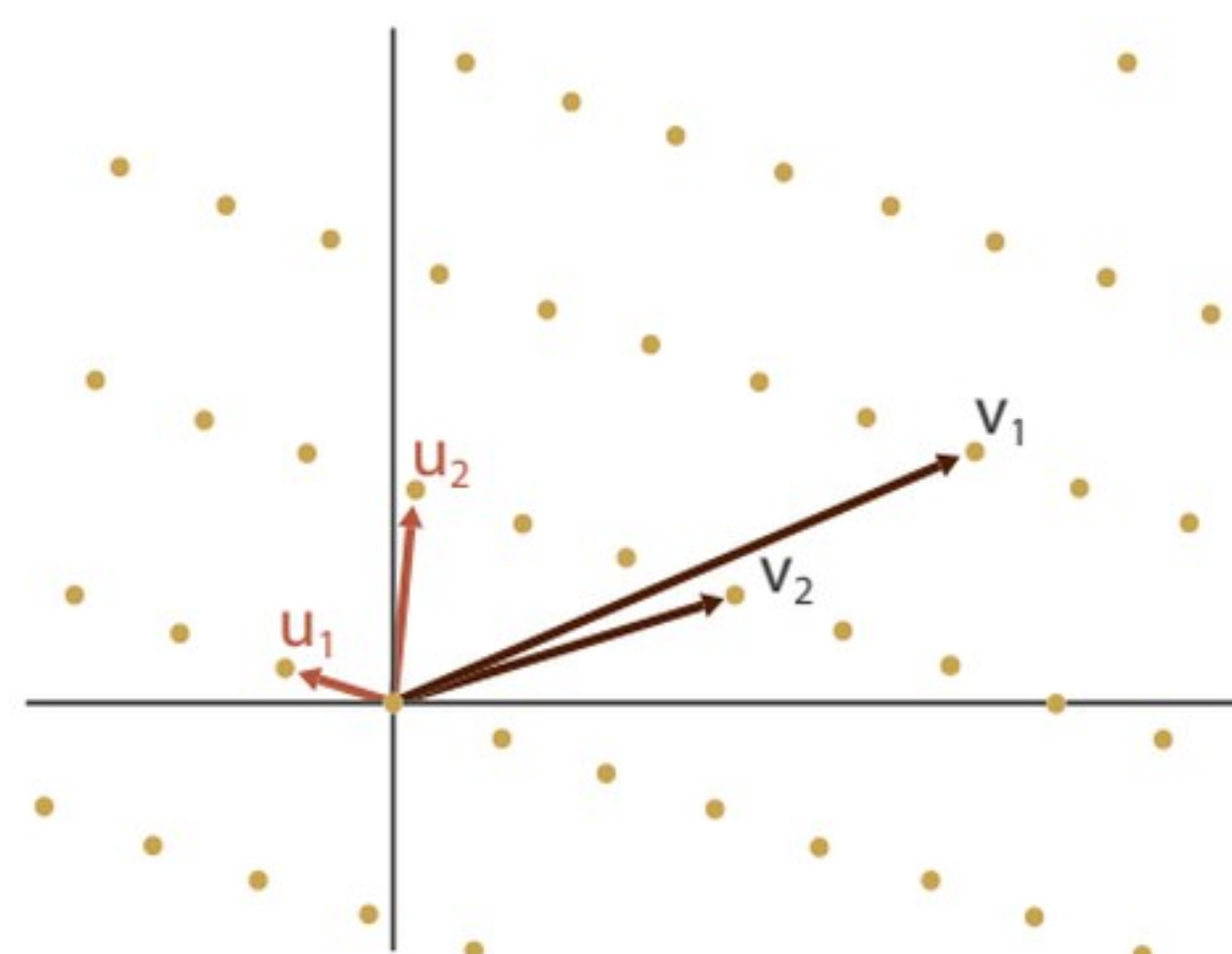
## ✓ PROTOCOLE RSA

Le protocole RSA repose sur le problème de la factorisation en nombres premiers. Prenons un exemple : un message est verrouillé derrière le nombre 33, sa clé sera alors la factorisation de 33 en nombres premiers, soit  $3 \times 11$ . Ci-dessous, le RSA-2048, un verrou qu'aucune puissance de calcul actuelle n'est capable de factoriser en nombres premiers.

```
25195908475657893494027183240048398571429282126204032027777137836043662020707595556264018
52588078440691829064124951508218929855914917618450280848912007284499268739280728777673597
14183472702618963750149718246911650776133798590957000973304597488084284017974291006424586
91817195118746121515172654632282216869987549182422433637259085141865462043576798423387184
77444792073993423658482382428119816381501067481045166037730605620161967625613384414360383
39044149526344321901146575444541784240209246165157233507787077498171257724679629263863563
73289912154831438167899885040445364023527381951378636564391212010397122822120720357
```

## > RÉSEAU EUCLIDIEN

En cryptographie, un problème consiste à trouver le plus petit vecteur non nul entre deux points d'un réseau. Dans un espace à deux dimensions, l'exercice est aisé. En revanche, plus le nombre de dimensions augmente, plus le problème devient difficile à résoudre et demande un temps de calcul très long.



## > HACHAGE

Une fonction de hachage transforme une donnée en une signature de taille réduite. Même si les données initiales ne divergent que très peu, la signature obtenue va varier grandement. Pour un attaquant, il est donc très difficile de retrouver la fonction de hachage à partir de la signature.

les réseaux euclidiens sont intensivement étudiés depuis des décennies, on ne peut exclure que quelqu'un trouve un jour un algorithme classique ou quantique capable de les faire tomber”, admet Damien Stehlé, coauteur de Dilithium et de Kyber. Conscient du problème, le Nist a donc prolongé le concours jusqu'en juin 2023 pour la catégorie “Authentification”. “L'idée est de ne pas placer tous ses œufs dans le même panier, et de diversifier les principes mathématiques retenus au cas où l'un ou plusieurs d'entre eux tomberaient”, explique Philippe Gaborit. Le mathématicien espère notamment faire certifier un schéma basé sur les “codes correcteurs d'erreur”, un principe prometteur, originellement utilisé pour restaurer l'intégrité des communications suite à des pertes de signal.

Cependant, posséder un algorithme infail- lible est une chose, l'implémenter dans nos voitures, téléphones et autres sonnettes connectées en est une autre. Pour cela, il faut pouvoir traduire facilement le problème mathématique sous forme de code informa-

tique. Certains schémas, comme Falcon, sont d'ores et déjà réputés difficiles à implémenter. “Si un codeur lambda ne peut appréhender l'algorithme facilement, il risque de provoquer des failles de cybersécurité”, analyse Philippe Gaborit. Autre problème: le poids des clés de chiffrement. “La meilleure méthode post-quantique en la matière, celle des réseaux euclidiens, génère des clés d'environ 1 000 octets, ce qui est plus de dix fois supérieur à la méthode des courbes elliptiques qui fait actuellement référence”, précise Damien Stehlé. Bien que très sécurisée, la méthode des codes correcteurs d'erreur pêche, elle, par des clés dépassant les 1 500 octets. Or la facilité de transmission des messages est cruciale pour les petits dispositifs comme les smartphones ou les passeports électroniques afin de ne pas rallonger les délais de communication. “Personne n'adoptera la cryptographie post-quantique si les communications sont dix fois plus lentes”, résume Pierre-Alain Fouque. La course au Graal de la cryptographie post-quantique reste ouverte.

# Au fil des saisons de JUPITER

La géante gazeuse n'est pas censée enchaîner des saisons comme notre Terre. Elle est pourtant soumise à des variations de températures, qui esquissent de mystérieux cycles climatiques. C'est la conclusion d'une étude qui a duré plus de 40 ans et qui nous emmène pour la première fois nous balader dans les différents climats de Jupiter.

## Son climat est rythmé par des cycles

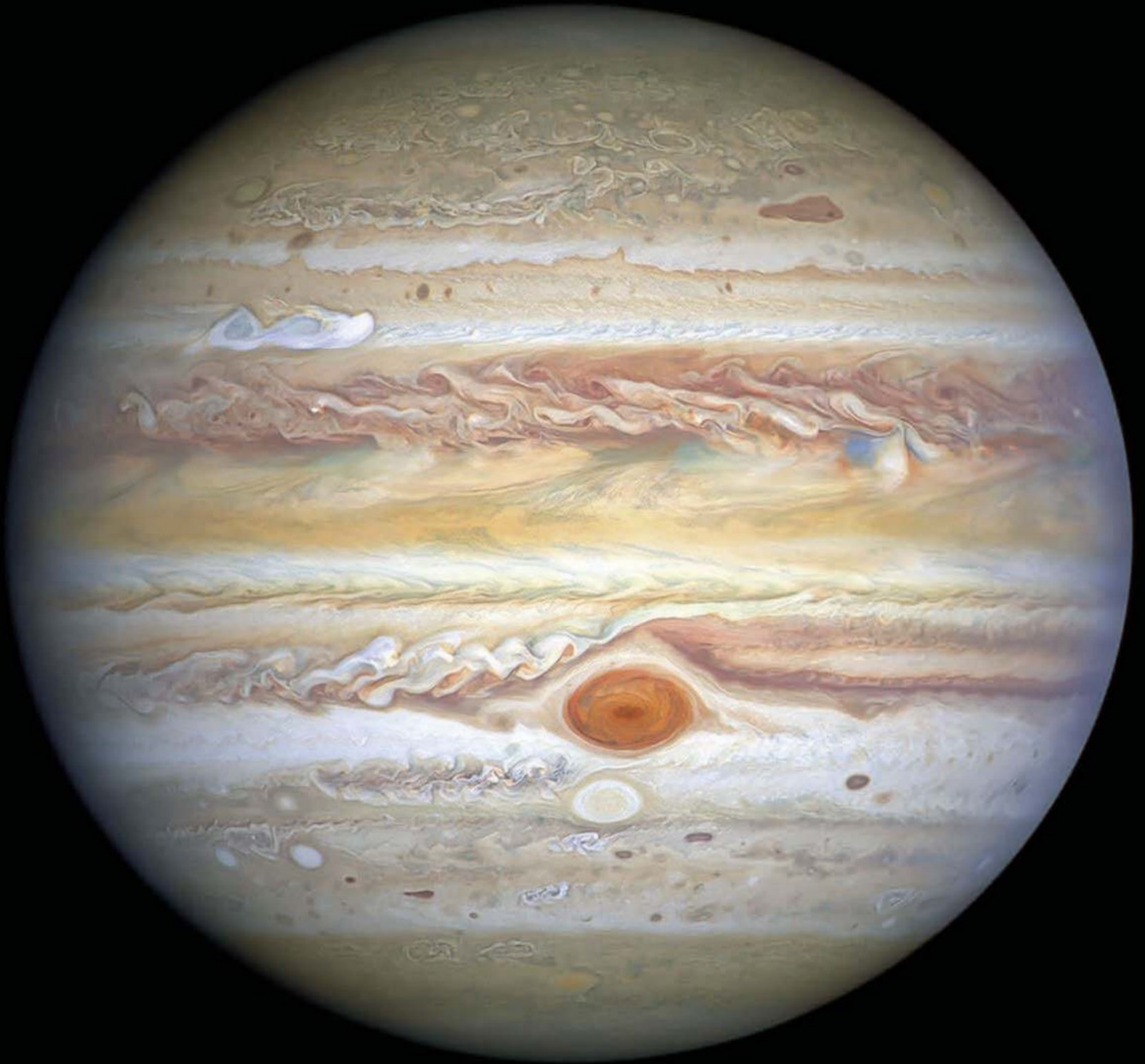
Jupiter n'a pas fini de nous surprendre. Après plus de 40 ans d'observations, des chercheurs ont réussi à mettre en évidence un phénomène inattendu : bien que Jupiter soit dépourvu de saisons, à cause d'une faible obliquité, *"les températures dans sa troposphère varient de façon périodique!"* s'exclame Glenn Orton, planétologue au Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la Nasa, aux États-Unis, coauteur d'une récente étude. Ses résultats montrent que tous les 4, 7 ou 10 ans, selon les zones, les températures reviennent toujours à leur valeur initiale. Un comportement singulier que les cher-

cheurs peinent à expliquer au vu d'une météo extrêmement compliquée : les températures à la surface de la planète varient entre  $-100^{\circ}\text{C}$  et  $-170^{\circ}\text{C}$ ; de violents orages et d'immenses cyclones se forment constamment; et les pressions sont démesurées. Car le volume de Jupiter équivaut à environ 1 300 fois celui de la Terre : *"La planète est une immense boule de gaz, comme si elle était uniquement composée d'atmosphère,"* décrit Jérémy Leconte, chercheur au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (LAB). *Elle est si grande et si massive que les pressions en son cœur pourraient être plus de 10 millions*

*de fois supérieures à celle à la surface de notre planète."* Et cette atmosphère s'étend de manière invisible sur des milliers de kilomètres au-dessus de la couche visible, la troposphère, où se forment de magnifiques nuages. C'est d'ailleurs dans cette couche que résident les fameuses bandes joviennes, ces immenses rubans blancs et rouges. *"Dans les bandes blanches, de l'ammoniac monte et se condense en nuages, révèle Thibault Cavalieri, planétologue au LAB. Dans les autres bandes, l'ammoniac s'enfonce et donne naissance à des nuages orangés."* Un véritable chaos.

NASA, ESA, A. SIMON (GODDARD SPACE FLIGHT CENTER), AND M. H. WONG (UC BERKELEY) AND THE OPAL TEAM - M. TUMELAIRE

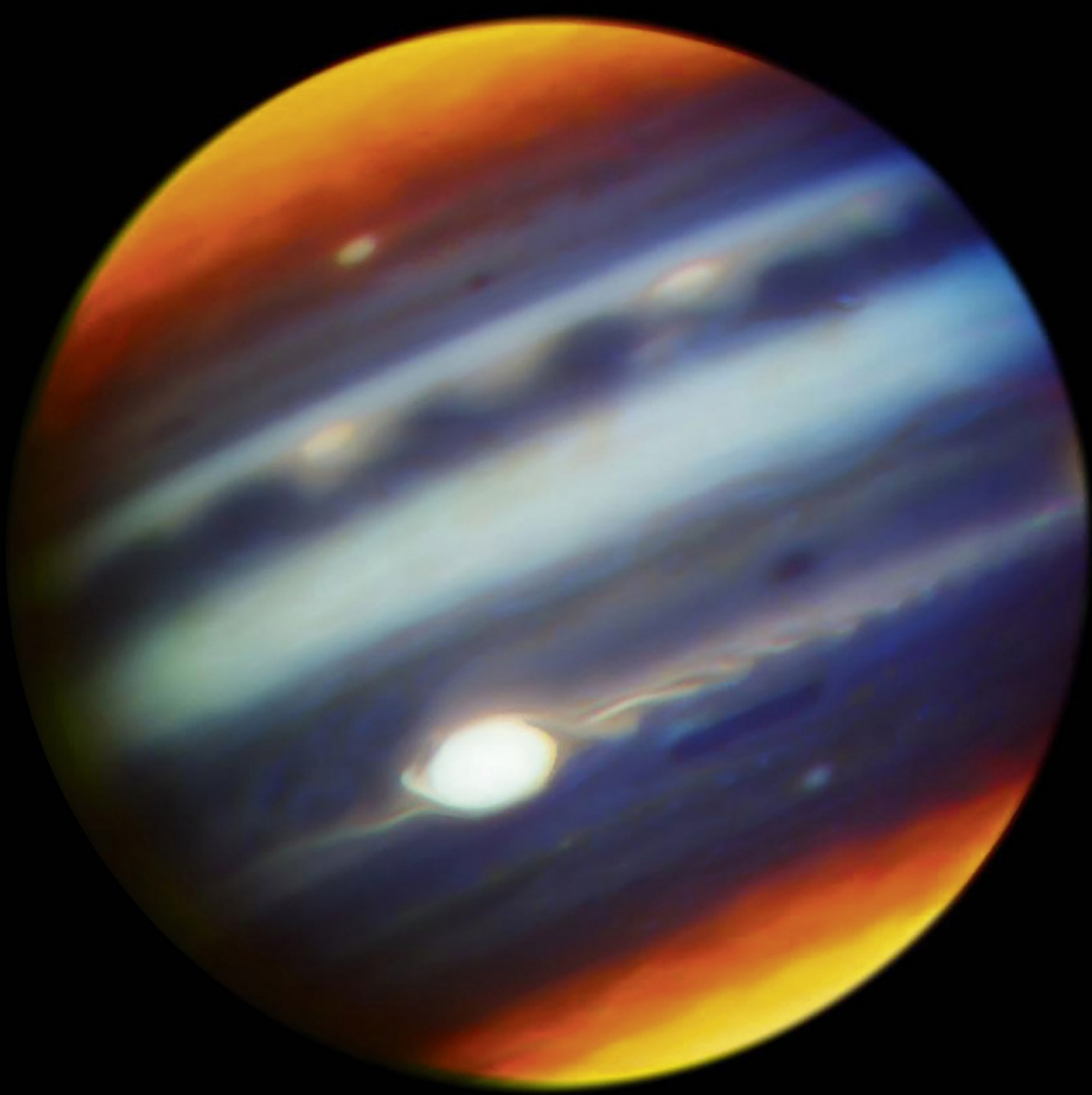






## Ses hémisphères sont liés

Les parties nord et sud de Jupiter semblent mystérieusement communiquer entre elles : si la température baisse à une certaine latitude de l'hémisphère Nord, alors elle augmentera de manière équivalente à la latitude opposée dans l'hémisphère Sud. Et ce, même si ces zones sont séparées de plusieurs milliers de kilomètres ! *“Cette symétrie entre les latitudes nord et sud est une vraie énigme”*, confesse Glenn Orton, à l'origine de cette découverte. *“C'est vraiment étrange, on ne s'attend pas à de telles anti-corrélations sur Jupiter”*, abonde Sandrine Guerlet, planétologue au Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris. En effet, ces variations coordonnées de températures de part et d'autre de l'équateur sont typiques des effets saisonniers : *“On le voit bien sur Terre. Quand c'est l'été dans l'hémisphère Nord, alors c'est l'hiver dans l'hémisphère Sud”*, poursuit la chercheuse. Mais l'inclinaison de l'axe de Jupiter par rapport au Soleil est si minime – de 3° seulement – que de tels changements synchronisés de températures ne devraient pas avoir lieu. Pourtant, c'est bel et bien le cas. Reste à déterminer les mécanismes jouant un rôle dans cette symétrie.



## Sa température à l'équateur dépend des vents

L'équateur de Jupiter a de quoi surprendre. Son diamètre – 142 000 km – est 6 % plus grand que celui qui relie le nord et le sud – 133 000 km environ. La faute à une vitesse de rotation excessive de la planète qui a élargi sa ceinture. Car, rendez-vous compte, la géante tourne à 47 000 km/h sur elle-même à l'équateur – contre 1 600 km/h pour la Terre! Mais, plus encore, en plein milieu de cet astre aux saisons pourtant quasi inexis-

tantes, la température à l'équateur varie aussi de façon périodique, et ce, tous les 4,5 ans. Qu'est-ce qui peut bien expliquer ce cycle quasi quadriennal? Il s'agirait de vents violents de la couche atmosphérique supérieure – la stratosphère – soufflant à plus de 600 km/h, qui influent sur la température de surface à l'équateur de manière périodique. "On a montré qu'au niveau de l'équateur, les vents changent de

*direction tous les quatre ans et demi, annonce Thibault Cavalié. On voit que cette oscillation des vents est parfaitement corrélée avec les variations de températures." C'est un phénomène que l'on retrouve souvent chez les planètes à rotation rapide: "Si les vents oscillent et changent de signe périodiquement aux moyennes latitudes, alors la température, aussi, finit par osciller autour d'une valeur moyenne", explique le planétologue.*

## Sa lune Io y engendre des aurores

Parmi les 92 lunes que compte Jupiter, Io se démarque. Ce satellite de 3600 km de diamètre possède l'orbite la plus proche de la planète ainsi que 400 volcans, qui en font l'astre le plus actif du Système solaire. Son volcanisme émet une très grande quantité de gaz, dont les électrons se font continuellement arracher et capturer par l'intense champ magnétique de Jupiter. *"Ces électrons ne peuvent s'accumuler indéfiniment le long de l'orbite d'Io, explique Bertrand Bonfond, chercheur à l'université de Liège, en Belgique. Ils vont donc se diffuser le long des lignes de champ magnétique de la planète jovienne."* Et ces lignes pointent toutes vers les pôles de la géante gazeuse: *"En arrivant près des pôles, les électrons s'y impactent sur l'atmosphère et créent de magnifiques aurores"*, continue le spécialiste. Un spectacle grandiose que l'on peut observer en toute saison puisque le phénomène, contrairement à ce qu'il se passe sur Terre, est incessant. *"Le champ magnétique de Jupiter présente des anomalies au pôle Nord: les aurores y sont donc déformées"*, s'amuse le chercheur. Jupiter est donc surplombé, à chaque instant, d'aurores flamboyantes... et distordues.



## Les pôles abritent des cyclones permanents

Les pôles de Jupiter sont recouverts d'un pavage cataclysmique. Et les cyclones éternels qui y tournoient sont structurés en formes géométriques quasi parfaites. Au pôle Nord, un ouragan central est encerclé par deux rectangles imbriqués. Le tout ressemble à un octogone d'où surgit, à chacun de ses huit sommets, un tourbillon d'environ 7000 km de diamètre (*photo ci-contre*). Au pôle Sud, un penta-

gone de cyclones, dont chacun mesure environ 4000 km de diamètre, dansent autour d'un vortex de la même taille. *"Ces cyclones sont une conséquence naturelle du fait que Jupiter soit une planète gazeuse en rotation rapide"*, précise Glenn Orton. Cette valse cyclonique existe sans discontinuer depuis leur première détection par la sonde Juno, en 2016. En outre, leur ronde semble complètement

verrouillée, n'acceptant aucun nouvel élément: *"Un cyclone a bien essayé de rejoindre la configuration au pôle Sud pour former un hexagone, mais il a été éjecté après quelques mois"*, explique le planétologue. D'ailleurs, ils ne fusionnent même pas entre eux, ce qui laisse penser que chaque ouragan doit être entouré d'un bouclier composé de vents tourbillonnant dans la direction opposée.



## Son œil se contracte petit à petit

Cyclones et surtout anticyclones constellent l'atmosphère de Jupiter. Mais le vortex qui s'est ancré au niveau de 22° de latitude sud n'a pas d'égal : avec ses 15 000 km de long et ses 12 000 km de large, la Grande Tache rouge – légèrement plus grande que la Terre – est le plus vaste anticyclone connu du Système solaire. Tout y est démesuré : la température moyenne avoisine les -160°C, les vents soufflent à plusieurs centaines de kilomètres-heure et les nuages qui la surplombent sont les plus élevés de la planète. *“Ces derniers se trouvent à environ 8 km au-dessus de tous les autres”*, révèle Jérémie Leconte. Cette tache, baptisée “l'œil jovien”, n'a jamais disparu en 350 ans, depuis sa première détection par l'astronome Cassini, en 1665. En revanche, elle évolue puisque sa pupille se contracte : son diamètre a autrefois englobé jusqu'à trois fois notre planète, et les couleurs rouge flamboyant de son iris virent petit à petit à l'orange. Aujourd'hui, il est impossible de dire si l'œil disparaîtra complètement ou s'il s'agit d'un cycle.



## Ses profondeurs regorgent d'orages et de grêle

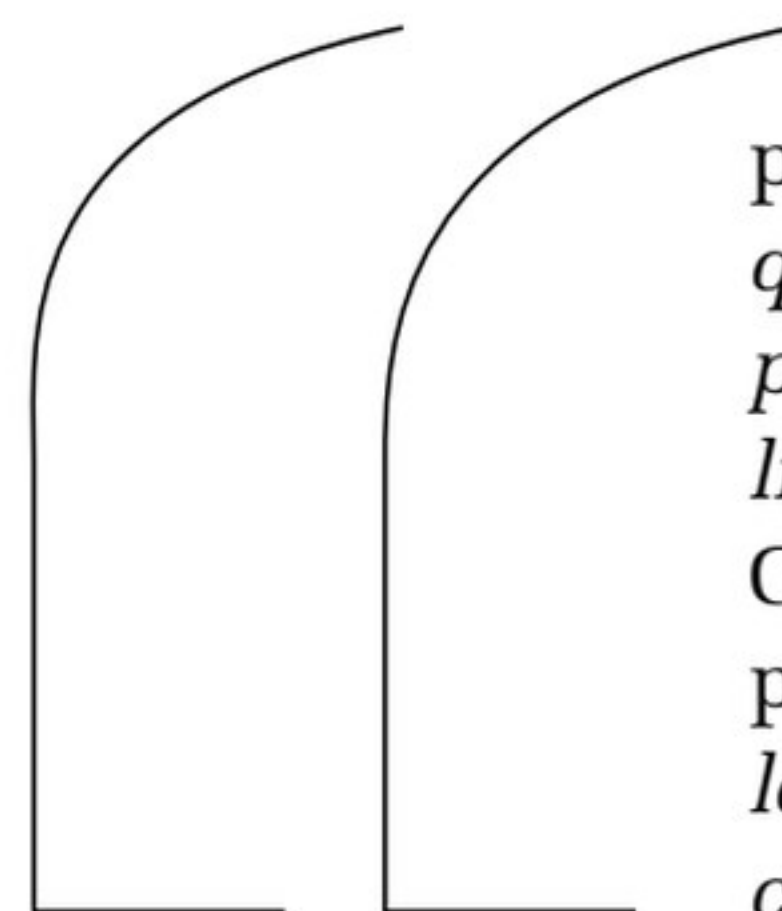
Au fin fond de la troposphère –où la température avoisine les 0°C–, des nuages d'eau se forment et donnent naissance à des orages. Ces derniers remontent le long de la troposphère jusqu'à atteindre une couche où les températures avoisinent, cette fois, les -130°C: là où se forment des nuages d'ammoniac. *"Or l'ammoniac est un puissant antigel, signale Tristan Guillot, astrophysicien à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Il peut faire fondre de l'eau glacée jusqu'à -100°C."* Tout comme sur Terre, où c'est la présence d'eau liquide surfondue qui est à l'origine des orages de grêle, ce mélange liquide d'ammoniac et d'eau permet la formation rapide de grêlons sur Jupiter. Résultat: ce mélange d'eau et d'ammoniac sous forme de grêle engendre de puissants éclairs! *"S'il n'y avait que de l'eau pure, un orage ne pourrait pas se former à ces températures"*, confirme l'astrophysicien.

C'est le travail de toute une vie. La couche de mystère entourant Jupiter est au moins aussi épaisse que son atmosphère, alors pour enfin percer les secrets de son climat, Glenn Orton, du Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la Nasa, aux États-Unis, a dédié la majeure partie de ses recherches à la planète jovienne. *"J'étais fasciné par l'idée de savoir comment elle évoluait au cours du temps, mais je n'avais pas imaginé que cette étude durerait aussi longtemps"*, avoue le planétologue. La période de révolution de la géante gazeuse autour du Soleil est en effet de 12 ans; pour récolter assez de données sur ses températures, le chercheur a donc dû patienter quelques tours... Si bien que son étude a duré plus de 40 ans! Aucun des étudiants qui l'ont aidé à analyser les données n'étaient nés à son commencement.

Les résultats de ce titanesque travail d'observation? *"Jupiter est un véritable casse-tête! s'amuse Glenn Orton. On a montré que la température varie de façon périodique dans sa troposphère – la couche atmosphérique la plus basse, celle que l'on est capable de voir. Et on ne s'y attendait pas du tout."* L'obliquité de la planète jovienne n'est en effet que de 3°, elle n'est donc pas soumise à une alternance de saisons comme on l'entend sur Terre... Mais Jupiter présente sans conteste des cycles climatiques. Ces derniers semblent même avoir des durées différentes selon les zones géographiques: ils se répètent tous les 4, 7 ou 10 ans. *"Le cycle de 7 ans est le plus énigmatique de tous, car il a lieu à toutes les latitudes, sans exception, sans que l'on sache encore pourquoi. Je ne dirais pas que ça m'empêche de dormir, mais presque"*, plaisante le chercheur.

### DES INDICES AU NIVEAU DE L'ÉQUATEUR

Alors, si Jupiter n'est pas censé avoir de saison, quels phénomènes peuvent bien engendrer ces variations cycliques de températures? Les chercheurs pensent avoir trouvé un début de réponse au niveau de l'équateur. À cette latitude, toujours à la surface de la tropo-



*Jupiter est un véritable casse-tête! Je ne dirais pas que ça m'empêche de dormir, mais presque*



GLENN ORTON  
Planétologue au  
Jet Propulsion  
Laboratory de la  
Nasa (États-Unis)

phère, un cycle de 4,5 ans s'opère. *"On sait que les variations de la température atmosphérique selon l'altitude sont intimement liées à la vitesse des vents, détaille Thibault Cavalié, planétologue au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. On s'est donc dit que les cycles opérant à l'équateur pouvaient être causés par une alternance, également périodique, de la direction des vents dans la couche atmosphérique du dessus, la stratosphère."*

Cette hypothèse, Thibault Cavalié et ses collaborateurs ont pu la confirmer en réussissant la toute première mesure des vents dans la stratosphère d'une autre planète: sur Jupiter, ces derniers sont bien cycliques... sans que l'on sache encore pourquoi. Reste qu'ils *"pourraient aussi être à l'origine d'autres cycles de Jupiter, et ne pas se limiter qu'à l'équateur"*, s'enthousiasme Thibault Cava-

lié. D'autres phénomènes viendraient s'ajouter à ces vents pour créer sur Jupiter des analogues de saisons: *"En faisant des simulations, nous avons remarqué que l'alternance des températures pourrait aussi dépendre des changements de distance entre Jupiter et le Soleil, révèle Sandrine Guerlet, astrophysicienne au Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris. Et à certaines latitudes, ces variations de distances semblent corrélées avec les variations de températures découvertes par Glenn Orton."*

D'autres révélations suivront bientôt: Thierry Fouchet, astrophysicien à Sorbonne Université, travaille sur un programme visant à scruter la géante gazeuse à travers les yeux du télescope spatial James-Webb: *"La sensibilité et la résolution du JWST nous permettront de sonder des fenêtres spectrales et des régions à la surface du disque inaccessibles depuis le sol, révèle le chercheur. On pourra donc sonder des couches atmosphériques très fines et y voir les phénomènes dynamiques qui s'y produisent."* De quoi confirmer, ou infirmer, l'hypothèse des vents, mais aussi étudier la chimie des régions aurorales ou la structure des nuages dans l'atmosphère profonde... Notre balade sur Jupiter ne fait que commencer.

## NOTRE SÉRIE **Les défis scientifiques les plus fous**

Forer à des kilomètres sous terre, rallier les pôles, poser un pied sur la Lune... toute l'histoire de l'humanité est jalonnée de ces défis les plus fous. Et ça n'est pas près de s'arrêter! *Science & Vie* poursuit sa série sur les plus incroyables missions scientifiques à venir. Ce mois-ci, plongée au cœur de la forêt amazonienne, sur la piste de ceux qui l'aident à se régénérer.



RAPHAEL ALVES/EPA/MAXPPP - M. TUMELAIRE

➤ Près de Manaus, le lac d'Aleixo, qui borde l'Amazone, souffre d'épisodes répétés de sécheresse.





# MISSION

## Sauver l'Amazonie

Comme bon nombre de grands systèmes végétaux de la planète, la forêt amazonienne souffre du réchauffement. Mais pas seulement. Ses dégradations, elle les doit aussi à l'exploitation humaine : celles du bois, des minerais, des ressources agricoles, avec en corollaire l'urbanisation. Or il est essentiel de préserver cette riche biodiversité. De multiples initiatives s'y emploient.

S

ouvenez-vous, en avril 2021, l'annonce avait fait l'effet d'une bombe : entre 2010 et 2019, l'Amazonie brésilienne a libéré davantage de carbone qu'elle n'en a stocké. La cause ? *“Une surmortalité des arbres, provoquée par le changement climatique, qui favorise les épisodes de sécheresse ; mais aussi les activités humaines telles que la dégradation et la déforestation”*, déplore Camille Piponiot, chercheuse en écologie forestière au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad).

Depuis, les choses ne sont pas allées en s'arrangeant : sous la présidence de Jair Bolsonaro, de 2019 à fin 2022, le rythme de la déforestation a presque doublé, passant de 750 000 ha à 1,3 million d'hectares par an. Selon les données fournies en décembre 2022 par le Réseau amazonien d'informations socio-environnementales géoréférencées, 128 millions d'hectares (ou 1,3 million de kilomètres carrés), soit 17 % du couvert forestier original de la forêt amazonienne, ont d'ores et déjà été déforestés. Gratte-ciel, pâturages, cultures mécanisées, routes et autoroutes viennent remplacer les essences millénaires.

Et ce n'est pas tout : 45 millions d'hectares supplémentaires, soit au moins 6 % du couvert forestier restant, se trouvent dans un état de délabrement avancé. Dans ces zones, la forêt est certes toujours présente – au moins partiellement –, mais ses fonctions écologiques sont largement altérées par la chasse, les coupes sélectives, les feux, les sécheresses... Cette dégradation pourrait même être plus prégnante que la déforestation : *“Certaines estimations font état de 17 % de forêt abîmée”*, avance Camille Piponiot. Résultat : la plus grande forêt tropicale humide du monde pourrait atteindre un point de non-retour qui en transformerait une partie en savane (voir S&V n°1249).

Alors, sommes-nous condamnés à voir cet immense écosystème s'écrouler ? Pas

encore. D'abord parce que le nouveau président, Lula, relance l'espoir d'un ralentissement drastique de la destruction de la forêt. *“Lors de ses précédents mandats, entre 2003 et 2011, le rythme de la déforestation avait été réduit de 80 %”*, se remémore François-Michel Le Tourneau, géographe et directeur de recherche au CNRS. Son travail sera de *“s'assurer que les lois brésiennes, très strictes, sont bien respectées, grâce à un suivi régulier assuré par la police et l'administration”*, confie-t-il. Un exercice dans lequel son prédécesseur s'était montré particulièrement laxiste.

### DE GRANDES VILLES DANS LA FORÊT

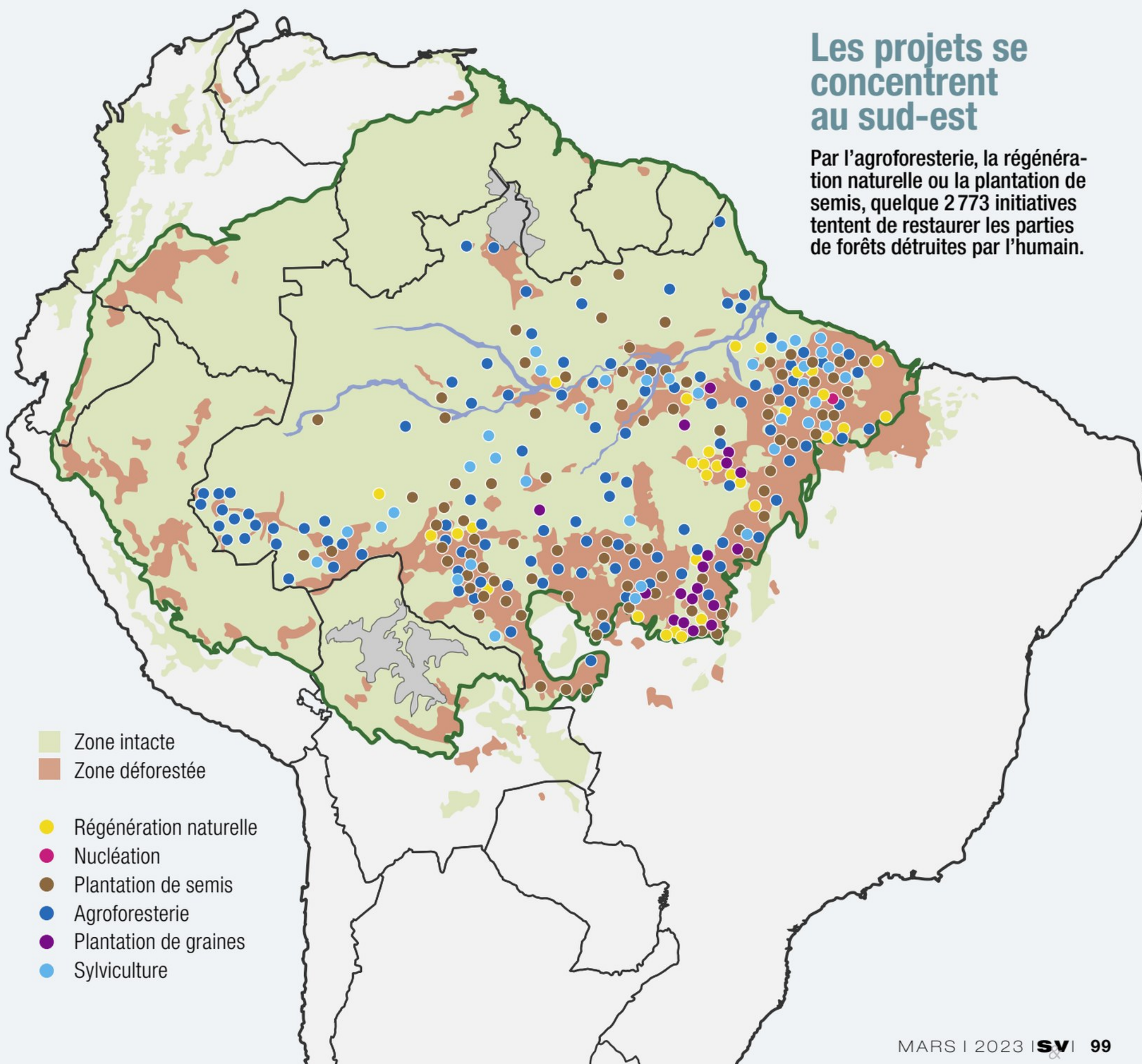
En parallèle, il est urgent de restaurer les hectares détruits. Dans ce domaine, les projets ne manquent pas. Au total, 2 773 initiatives de restauration forestière ont été répertoriées par l'Alliance pour la reforestation en Amazonie – un partenariat regroupant des ONG, des centres de recherche et des instituts gouvernementaux (voir carte, ci-contre). Seulement voilà, 80 % de ces projets couvrent moins de 5 ha. Et ce, pour une raison très simple : l'humain n'a pas seulement déboisé la forêt amazonienne, il y a également élu domicile.

En dehors du million d'autochtones, installés depuis des siècles, l'Amazonie héberge 34 millions d'habitants, que ce soit dans les villes ou les domaines agricoles. Afin de reboiser et restaurer la végétation sur les terres endommagées, *“il est indispensable d'impliquer ces différents propriétaires, souffle Marion Daugeard, chercheuse associée au Centre de recherche et de documentation sur les Amériques (Creda). Le problème, c'est que même lorsqu'un propriétaire fait l'effort de restaurer quelques hectares, si ses voisins ne font pas de même, cela n'aura qu'un impact limité sur le contrôle de l'érosion ou la restauration de la faune et de la flore. Et puis cela ne sert à rien de reboiser maintenant si c'est pour tout couper dans vingt ans dans le but de reconstituer des terres agricoles...”*

Ainsi, plus de la moitié des projets recensés par l'Alliance pour la reforestation en Amazonie sont des projets d'agroforesterie qui proposent un compromis associant un reboisement partiel à une production agricole. Il s'agit en l'occurrence de planter sur un même terrain des cultures vivrières – du maïs ou du manioc, par exemple – et des plantules d'arbres – hévéea, café, cacao... "Ces systèmes sont plutôt populaires en Amazonie, car ils

permettent aux petits agriculteurs d'engranger des revenus", indique Plinio Sist, directeur de l'unité Forêts et sociétés au Cirad. "Pendant trois à quatre ans, on peut obtenir une récolte de maïs ou de manioc. Puis, une fois que les arbres ont suffisamment poussé, l'agriculteur bascule sur un système de récolte forestière pour produire des fruits, par exemple."

Cependant, cette fragmentation des propriétés forestières en Amazonie com- →



## Pour aider la forêt à se régénérer, il faudrait...

Barrages, assèchements, mines, urbanisation, agriculture intensive, exploitation du bois... Pour guérir chacune de ces blessures infligées à la forêt amazonienne, les méthodes de restauration empruntent diverses pistes.

### DÉMOLIR CERTAINS BARRAGES

Dans un rapport publié en 2021, le Panel scientifique pour l'Amazonie, un groupe de chercheurs créé à l'initiative des Nations unies, préconise de démolir certains barrages créés pour fournir de l'eau au bétail ou pour la production piscicole. Sans eux, le débit d'écoulement naturel et la biodiversité des cours d'eau seraient en partie restaurés. Mais cette mesure n'est pour l'instant pas mise en œuvre en Amazonie.

### RESTAURER DES PLAINES INONDABLES

Situées à proximité des rivières ou des fleuves, les plaines inondables sont submergées de manière cyclique. *"Ces écosystèmes sont particulièrement importants car ils régulent tout le réseau hydrique et évitent que certains petits fleuves ou rivières ne s'assèchent de manière définitive"*, indique Plinio Sist. La restauration de ces zones consiste à y réinstaller des arbres ainsi que des végétaux aquatiques adaptés aux zones humides continentales.

### RÉTABLIR LA FERTILITÉ DES SOLS ÉPUIÉS

Pour construire les mines, puits et pipelines nécessaires à l'extraction de minéraux et de combustibles fossiles, la terre est décapée, ce qui détruit la banque de graines disponible dans le sol. Les projets de restauration s'attèlent donc d'abord à traiter les sols, pour augmenter leur fertilité et réduire leur acidité – grâce à du carbonate de calcium ou des engrais azotés, par exemple – avant de replanter.



plique la mise en place de projets plus ambitieux, sur de grandes superficies. Sans les rendre impossibles pour autant. Ainsi, l'ONG Black Jaguar en mène un particulièrement spectaculaire: reboiser 1 million d'hectares le long des fleuves Araguaia et Tocantins. L'objectif est de créer un corridor de 2 600 km de longueur et 40 km de largeur reliant les écosystèmes amazoniens à ceux des savanes du Cerrado, au sud-est de la région. *"L'idée de ce corridor est de connecter des fragments de végétation entre eux, de part et d'autre*

B. BOURGEOIS

*du fleuve, grâce à différentes techniques de restauration passives ou actives"*, indique Marion Daugeard. Le long de son corridor, Black Jaguar a compté quelque 24 000 propriétés rurales détenues par des agriculteurs.

### LAISSER LA FORÊT SE RÉGÉNÉRER SEULE

Sa mission est maintenant de convaincre les agriculteurs locaux de planter des arbres, dont une partie servira à la production fruitière, comme le péqui, qui donne un fruit riche en huile; ou le cupuaçu, un arbre proche du

## TRAITER LES EAUX USÉES DES VILLES

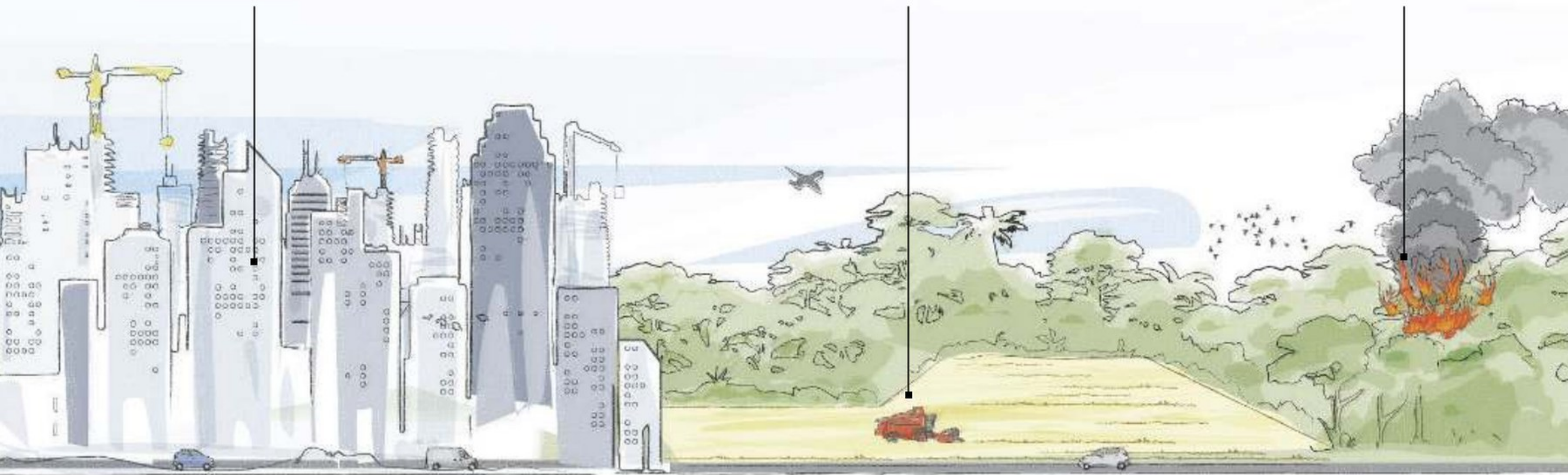
Selon les chiffres fournis en 2021 par le Panel scientifique pour l'Amazonie, seulement 12 % des villes de la forêt brésilienne traitent leurs eaux usées. Pour ces chercheurs, la mise en place d'infrastructures de base pour rattraper ce retard constitue la première étape de la restauration des écosystèmes aquatiques de la région.

## PRÉFÉRER LES PLANTATIONS NATURELLES AUX PÂTURAGES

80 à 90 % de la déforestation en Amazonie est causée par l'ouverture de nouveaux pâturages destinés à l'élevage bovin. Mais ces aires enherbées se dégradent rapidement sous l'effet de l'alternance de saisons sèches et humides typique de l'Amazonie. Résultat, une partie est laissée à l'abandon. Si la zone est à proximité d'une forêt qui pourra fournir des graines en quantité suffisante pour la repousse, il est alors possible de recourir à la régénération naturelle.

## ANTICIPER LA SÉCHERESSE ET PRÉVENIR LES INCENDIES

Les sécheresses extrêmes, les feux de forêts, l'abattage sélectif et la chasse mènent à la dégradation d'une partie significative des forêts amazoniennes. Résultat : l'écosystème est fragilisé, s'appauvrit et perd en biodiversité. Dans ce type de situations, *“les techniques consistent à protéger la forêt contre les perturbations humaines comme les incendies notamment, afin de lui permettre se régénérer seule”*, constate Plinio Sist.



cacaoyer qui produit un fruit couramment utilisé dans la cuisine régionale. Pour le moment, le pari fonctionne: en décembre 2020, l'ONG vantait la plantation de 100 000 semis sur 130 ha, et affiche l'ambition d'atteindre 10 millions de plantations d'ici à 2025. Reste à savoir si l'ensemble des propriétaires suivront.

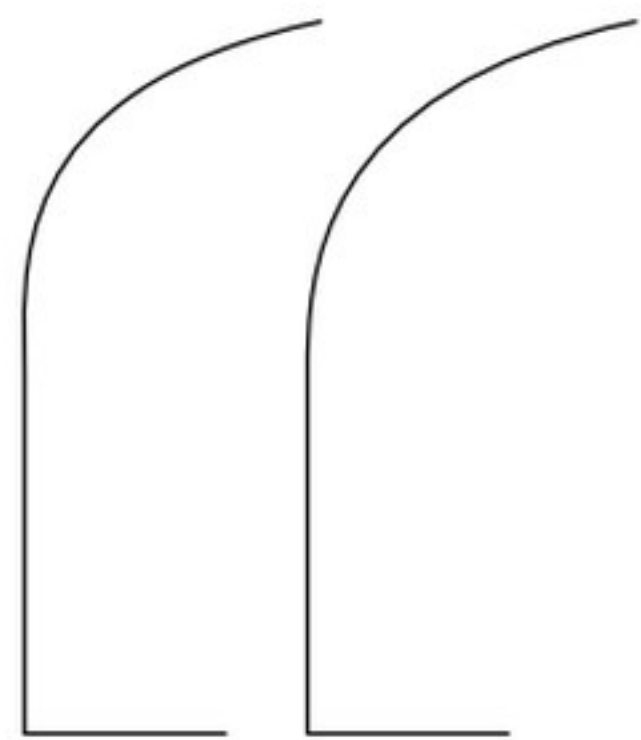
D'autres projets, quant à eux, se situent sur des zones déforestées et à l'abandon. Dans ces circonstances, il est souvent préférable de laisser la forêt se régénérer toute seule, sans intervention humaine. *“Les systèmes fores-*

*tiers amazoniens repoussent assez facilement et rapidement en général, observe Camille Piponiot. Par exemple, sur un ancien pâturage, ce qui constitue la majorité des cas de restauration en Amazonie, la forêt repousse assez bien à partir du moment où l'on enlève le bétail et où on la protège contre les feux.”*

## RÔLE PLUS ÉCOLOGIQUE QU'ÉCONOMIQUE

Toutefois, sur les terrains qui ont subi tellement de modifications qu'il ne reste plus assez de graines disponibles dans le →

sol, il est parfois nécessaire de semer à la main, ou encore grâce à des engins agricoles ou des drones. Les espèces pionnières – c’est-à-dire celles qui se développent en pleine lumière – sont alors fréquemment employées : *“Leur bois est très peu dense, elles vivent entre vingt et trente ans et ne dépassent pas 25 m”*, détaille Plinio Sist. Autrement dit, cela en fait des candidates idéales pour recoloniser la forêt.



*Grâce aux savoirs des populations autochtones, on sait quelles sont les bonnes pratiques à adopter*

### VASTES CONNAISSANCES EN BOTANIQUE

Car, tapies à l’ombre de ces arbres, germent et grandissent des espèces moins tolérantes à la lumière. *“Lorsque les espèces pionnières meurent, les arbres qui ont poussé dans l’ombre prennent le relais. On va ainsi voir émerger, au fil des années, et au fil des siècles, une nouvelle forêt mature”*, indique le directeur de l’unité Forêts et sociétés du Cirad. Ces forêts dites “secondaires”, sans rôle économique direct, assurent un grand nombre de fonctions écologiques : *“Elles protègent et assurent la fertilité du sol, captent du CO<sub>2</sub>, hébergent une grande biodiversité et participent à la régulation du climat et de la pluviométrie en transpirant”*, liste Plinio Sist.

L’un de ces projets pionniers dans la restauration par semis est mené dans l’État brésilien du Mato Grosso par l’ONG Instituto Socioambiental. Il incite les communautés autochtones de la région des sources du fleuve Xingu à collecter et à distribuer les graines d’arbres locaux dans le but de reforester les étendues de forêts perdues. Ils utilisent une technique traditionnelle appelée “*muvuca*”, qui consiste à mélanger les graines de plus de 200 espèces forestières endémiques et à les répandre à l’aide d’outils agricoles sur des terres brûlées, mal gérées ou déboisées. L’objectif est de s’appuyer sur les vastes connaissances en botanique des peuples indigènes pour restaurer rapidement le couvert forestier et assurer le suivi de la crois-

## Qu’en est-il de la faune ?

Les dégradations et déforestations menacent également la faune amazonienne : lors de ces vingt dernières années, 20 à 25 % des effectifs de jaguars, déjà classés comme “quasi menacés” par l’UICN, ont disparu. Ces grands prédateurs, qui nécessitent de grands espaces pour se développer – entre 30 et 250 km<sup>2</sup> – pourraient profiter de la création de grands corridors végétaux comme celui imaginé par l’ONG Black Jaguar. Et si les programmes dédiés à la faune amazonienne sont généralement des programmes de conservation, il existe également quelques programmes de réintroduction : l’ONG Renctas prévoit par exemple de réintroduire une douzaine de jeunes lamantins d’Amazonie (*Trichechus inunguis*) dans la région de Santarém, au Brésil.

sance des arbres. Ce projet lancé en 2004 a déjà permis de restaurer 3 200 ha de forêt le long du fleuve Xingu. À terme, l’objectif sera de reforester 300 000 ha.

Pourtant, ces différents projets ont une limite : ils ne feront pas émerger une véritable forêt primaire. *“On ne peut pas recréer un écosystème aussi riche et complexe que celui qui a été détruit”*, déplore François-Michel Le Tourneau. *“Mais, grâce à ces différents projets, la recherche a progressé et on a appris énormément de choses sur la manière dont travaillent les populations qui vivent en Amazonie et sur les choix qu’elles font, souligne Marion Daugeard. On sait désormais quelles sont les erreurs à ne pas reproduire. Ces différents projets ont également permis de former des leaders locaux, et parfois de faire naître chez les agriculteurs de nouvelles idées de reforestation ou de nouvelles pratiques agricoles.”* Et peut-être d’ouvrir une nouvelle ère dans la relation entre l’humain et la forêt. ☞



**MARION DAUGEARD**  
Chercheuse au Centre de recherche et de documentation sur les Amériques



Mars 2023

**HORS  
SÉRIE**  
AGRONOMIE

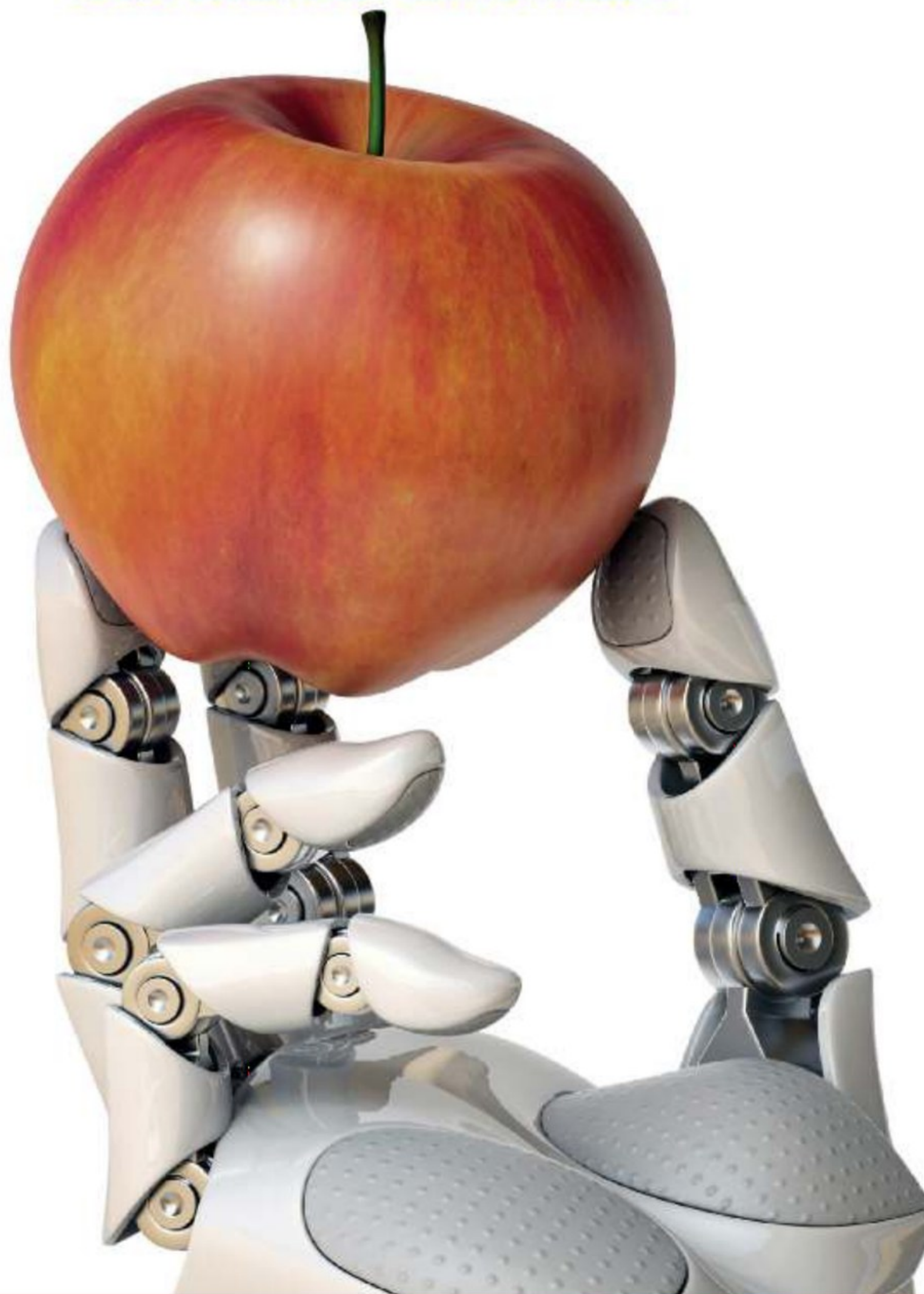
306

**SCIENCE & VIE**

# Agriculture

## Quelles solutions pour demain?

Agroclimatologie / Séquestration du carbone /  
Souveraineté alimentaire



REWORLD  
MEDIA

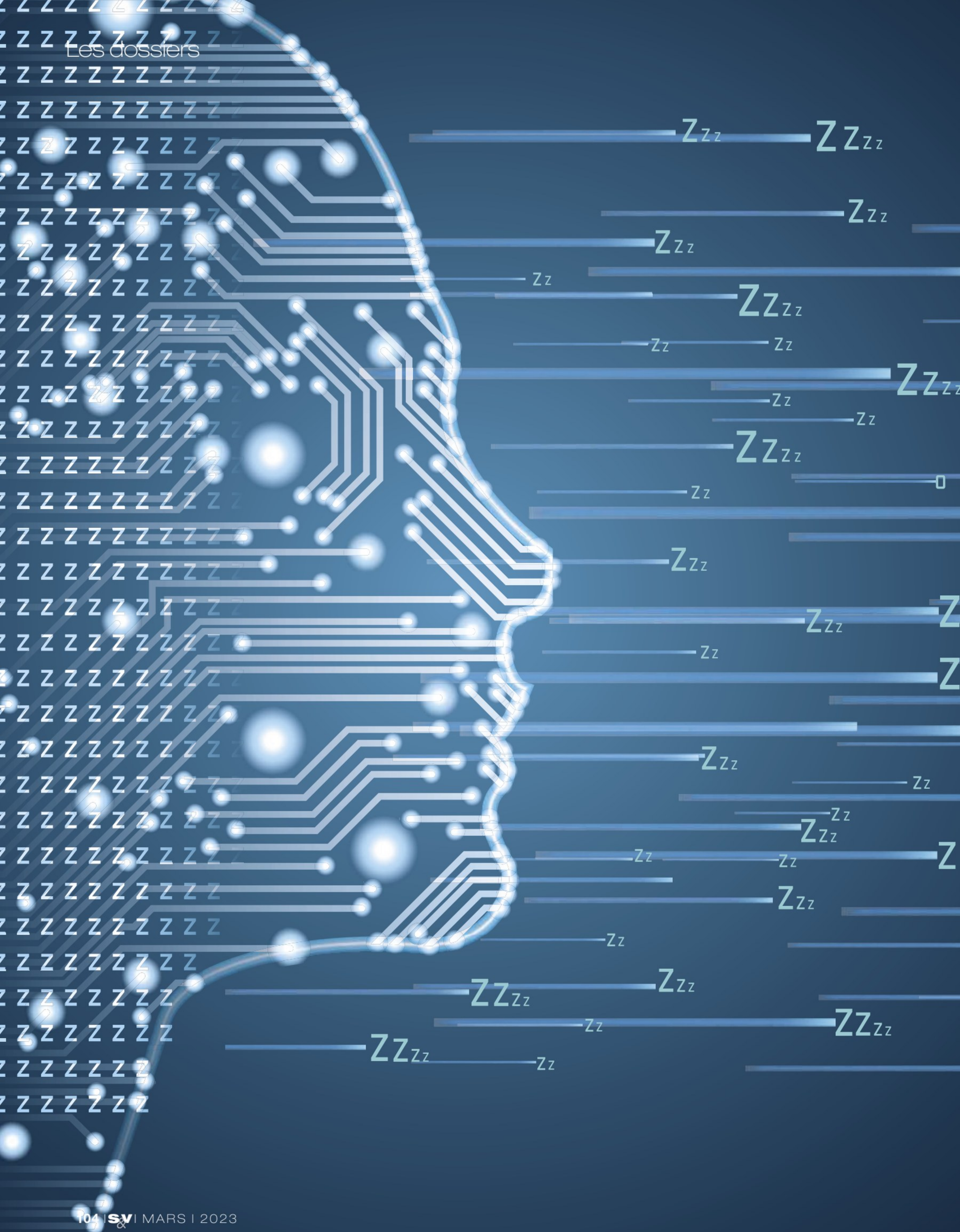
VENTE ET ABONNEMENT

En vente actuellement  
en ligne ou chez votre marchand de journaux

 **Kiosque  
Mag**

Disponible sur  
kiosquemag.com









# L'IA apprend mieux en dormant!

Pour booster les performances des intelligences artificielles, certains chercheurs tentent de s'inspirer du fonctionnement du cerveau humain. Avec des résultats prometteurs.

**V**oilà un gros problème de l'IA : elle a des trous de mémoire. Les plus récentes sont certes dotées de capacités d'apprentissage hors norme, auxquelles elles font appel pour réaliser des tâches extrêmement complexes – prédire efficacement la météo, battre les meilleurs joueurs d'échecs, créer des œuvres d'art... Mais dès lors qu'une IA planche sur une nouvelle tâche, ses acquis peuvent être zappés de sa "mémoire". Les spécialistes parlent d'oublis "catastrophiques" ou "foudroyants". Les réseaux de neurones artificiels – cette succession de couches constituées de nœuds et jouant le rôle de cerveau – ne sont tout simplement pas adaptés à l'apprentissage continu.

SHUTTERSTOCK - M. TUMELAIRE

Pourquoi? En raison du fonctionnement même des neurones artificiels, qui ont tendance à se sur-spécialiser. Pour entraîner un modèle à reconnaître les races de chiens, par exemple, les développeurs vont d'abord lui montrer des millions de photos de canidés. À force d'essais et d'erreurs, l'IA va apprendre et s'affiner, si bien que certains de ses neurones performeront dans la tâche. Maintenant, si l'on veut qu'elle sache aussi distinguer les races de chats, il faut la soumettre à un autre entraînement, avec des images de

félines. Et là, catastrophe : le modèle devient excellent pour reconnaître les chats, et incapable de discerner un chien. *"Le réseau de neurones ignore lesquels sont les plus performants pour réaliser un certain type de travail,"* décrypte *Timothée Lesort*, chercheur en informatique à l'université de Montréal, au Canada. *Lorsqu'il apprend de nouvelles choses, il peut donc modifier sans s'en rendre compte des neurones pourtant utiles à la tâche précédente. Pour le modèle, après le second entraînement, c'est comme si le monde n'était fait que de chats."*

Les concepteurs sont-ils voués à réentraîner leur IA à chaque fois qu'ils veulent lui enseigner une nouvelle tâche? Heureusement, non : les spécialistes de l'apprentissage continu recherchent, depuis plusieurs

## Repères

Malgré ses 285 000 processeurs, le modèle GPT-3, l'un des plus performants au monde, ne sait faire qu'une seule chose : générer des textes.

années, des parades contre ces trous de mémoire artificiels (voir infographie pages suivantes). Et, récemment, des chercheurs de l'université de Californie, à San Diego (États-Unis), et de l'Académie tchèque des sciences ont mis au

point une technique pour le moins originale, directement inspirée du cerveau humain. Ils ont réussi à... endormir une IA!

L'idée peut sembler saugrenue. Pourtant, chaque nuit, malgré notre apparente passivité, c'est le grand remue-ménage dans notre cerveau : les données acquises doivent être classées pour ne pas être oubliées. →

“Un orchestre d’ondes cérébrales rejoue nos expériences récentes au niveau de l’hippocampe, dépeint Delphine Oudiette, chercheuse à l’Institut du cerveau à l’hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Ces réactivations permettent le transfert des souvenirs stockés à court terme de l’hippocampe vers le cortex, pour leur stockage à long terme.” Ainsi, sans réelle action de notre part, juste en dormant, notre cerveau mémorise. Pourquoi ne pas imiter le sommeil dans quelques lignes de code pour en recréer les bienfaits ?

“C’est le défi que l’on s’est lancé, avec trois collègues : reproduire ce moment très particulier sur un réseau de neurones artificiels, décrit Maxim Bazhenov, chercheur en neurosciences computationnelles au département de médecine de l’université de Californie, et coauteur de l’étude. Pour ce faire, au lieu de juste enseigner une tâche puis une seconde à un modèle, les chercheurs ont séparé les deux entraînements par des phases “hors ligne”. “Pendant ces pauses, on nourrit le réseau avec du bruit aléatoire”, explique Maxim Bazhenov (voir infographie ci-dessous). “Ceci pousse le modèle à se

BRUNO BOURGEOIS - DR

demander : ‘qu’est-ce que j’ai vu, qu’est-ce que j’ai appris?’ et lui permet de virtuellement recontextualiser ses nouvelles connaissances dans un cadre plus global”, complète Timothée Lesort.

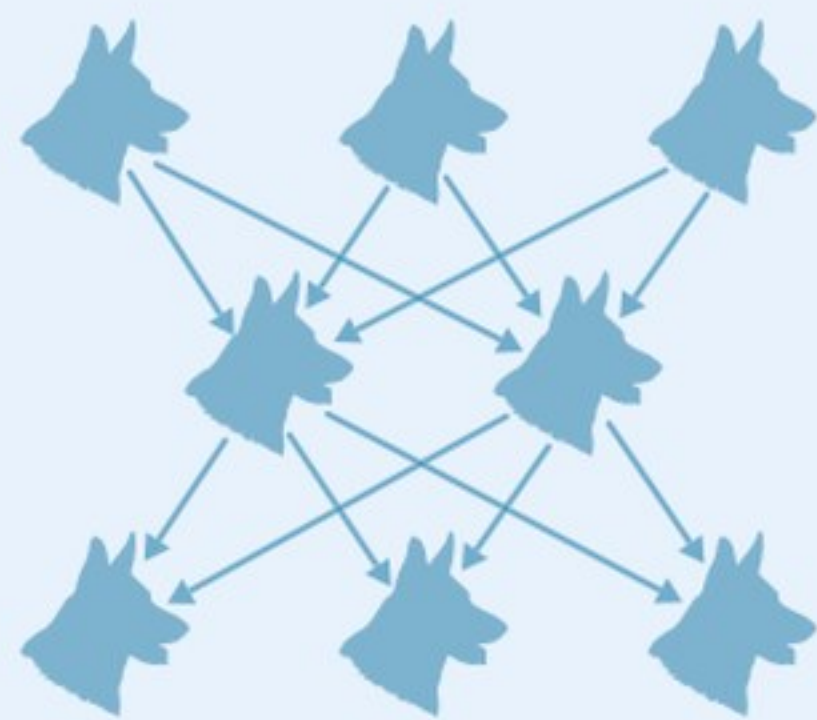
### D’AUTRES PISTES À EXPLORER

Les conséquences de cette sieste artificielle ? Les neurones les plus importants dans la première tâche (reconnaître les races de chiens) se renforcent et sont moins sujets à la modification. Et quand les développeurs attellent l’IA à une nouvelle tâche (reconnaître les races de chats), les neurones les moins performants dans la première tâche tendent à se spécialiser dans les félins. Une fois le second entraînement terminé, les scientifiques endorment une dernière fois l’IA : les neurones spécialisés dans les chiens, modifiés au dernier apprentissage, se réparent. À la fin du processus, l’IA œuvre dans la seconde tâche quasi à la perfection, et dans la première à plus de 80 %. Elle sait à présent faire deux choses à la fois !

Ce résultat, déjà excellent, pourrait encore être amélioré. Pour leur technique, les

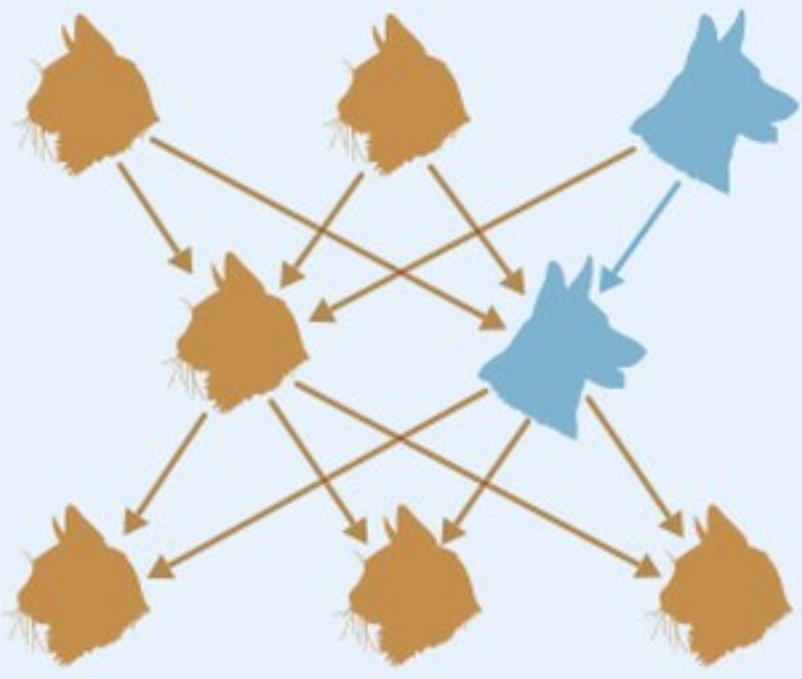
## Comment remédier aux oublis catastrophiques ?

Plusieurs techniques, plus ou moins efficaces, sont en cours de développement en vue de renforcer l’apprentissage continu des réseaux de neurones artificiels.



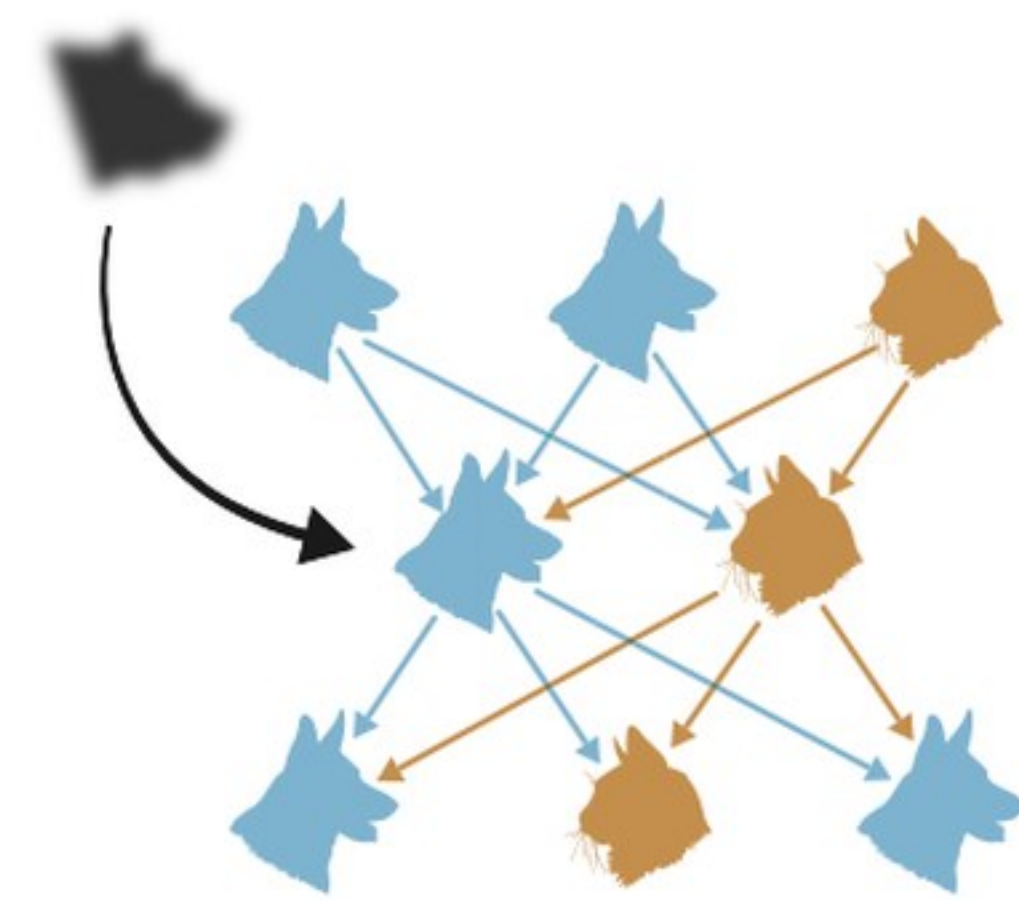
**Apprentissage de la tâche 1**

Une fois que l’IA a été entraînée à l’aide d’un grand nombre d’images de chiens, les neurones artificiels de son réseau (en bleu) sont très compétents dans la reconnaissance des races de chiens.



**Apprentissage de la tâche 2 : on se heurte à une limite**

On veut que le réseau sache aussi identifier les races de chats. Mais si ses neurones suivent un entraînement sans prédispositions particulières, même les plus efficaces d’entre eux dans la reconnaissance des chiens risquent d’être modifiés pour, à la fin, ne plus reconnaître que les félins (en orange). C’est l’oubli catastrophique.



### Solution A : endormir l’IA à différentes étapes

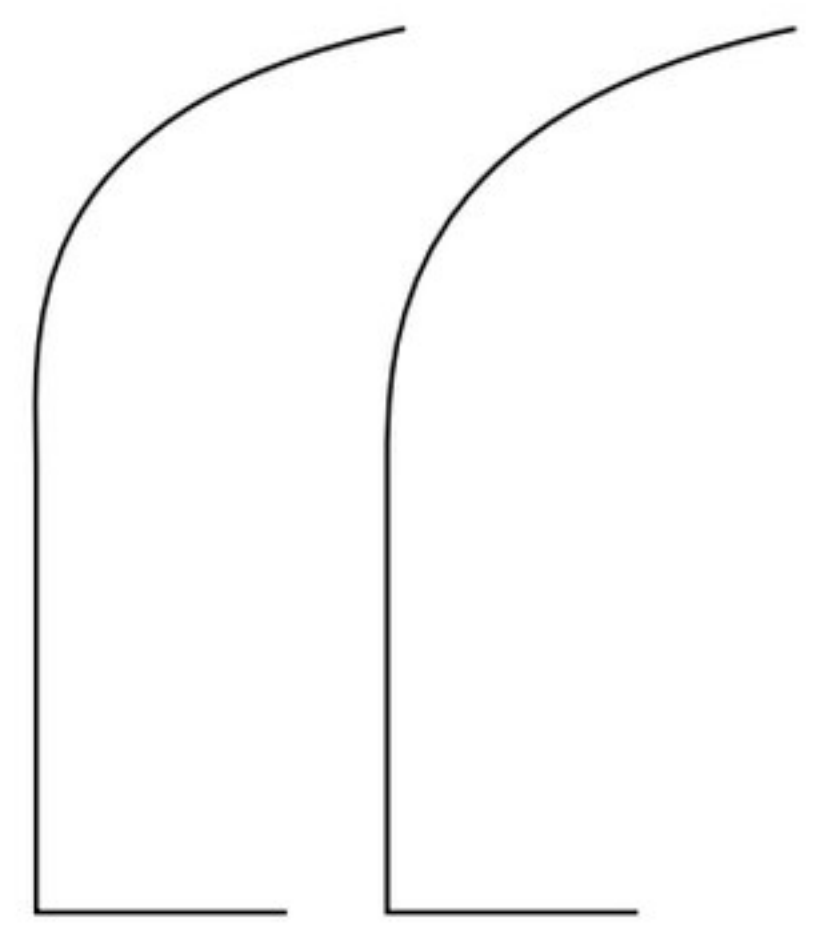
Avant de l’entraîner à la tâche 2, on plonge l’IA dans une sorte de sommeil en le nourrissant de bruit (flou noir). Les neurones efficaces dans la reconnaissance des races de chiens ressortent renforcés. Puis une autre phase de sommeil est ajoutée, pour rétablir des neurones abîmés lors de la tâche 2. Résultat : l’IA reconnaît aussi bien les races de chats que de chiens.

quatre chercheurs n'ont pas reproduit le sommeil humain dans son intégralité: ils se sont concentrés sur les activations aléatoires du sommeil paradoxal, cette phase où se produisent les rêves dont on se souvient. "Le sommeil paradoxal peut jouer un rôle dans la consolidation des apprentissages procéduraux, émotionnels, et probablement dans l'oubli", admet Delphine Oudiette. L'experte s'étonne cependant: "Son rôle dans la mémoire est moins bien compris et plus controversé." Car les réactivations de nos expériences récentes se produisent plutôt dans la phase dite de sommeil lent. "C'est tout à fait vrai, concède Maxim Bazhenov. Il serait très intéressant de développer un autre modèle d'IA qui reproduirait ces deux phases." On pourrait même aller plus loin, ne pas s'inspirer uniquement du sommeil: le cerveau utilise de multiples autres mécanismes pour renforcer ses souvenirs.

En 2017, des chercheurs de DeepMind – l'une des branches IA de Google – ont notamment pris modèle sur le processus de consolidation synaptique: "Ce sont les changements qui s'opèrent à l'échelle des

synapses après un apprentissage, éclaire Édith Lesburguères, neuroscientifique et spécialiste de cet aspect de la mémoire. Il s'agit de l'un des nombreux mécanismes de la consolidation de nos souvenirs à long terme." Afin de renforcer les acquis du modèle lors de la première tâche, l'équipe a ainsi identifié les neurones spécialisés dans celle-ci, et compliqué leur modification lors du second entraînement.

Un jour, peut-être, l'ensemble de ces procédés bio-inspirés pourront être concentrés en une seule technique, dans l'objectif de développer une IA exempte de trous de mémoire et véritablement multitâche. Mais pour cela, l'imitation du système cérébral ne sera pas suffisante, prévient Timothée Lesort: "Avec la simple imitation, on s'impose des contraintes qui ne sont pas forcément pertinentes pour des IA." Certains processus d'apprentissage pourraient en effet avoir échappé au cerveau humain, malgré ses millions d'années d'évolution. Ceux-là, il faudra les inventer ex nihilo.

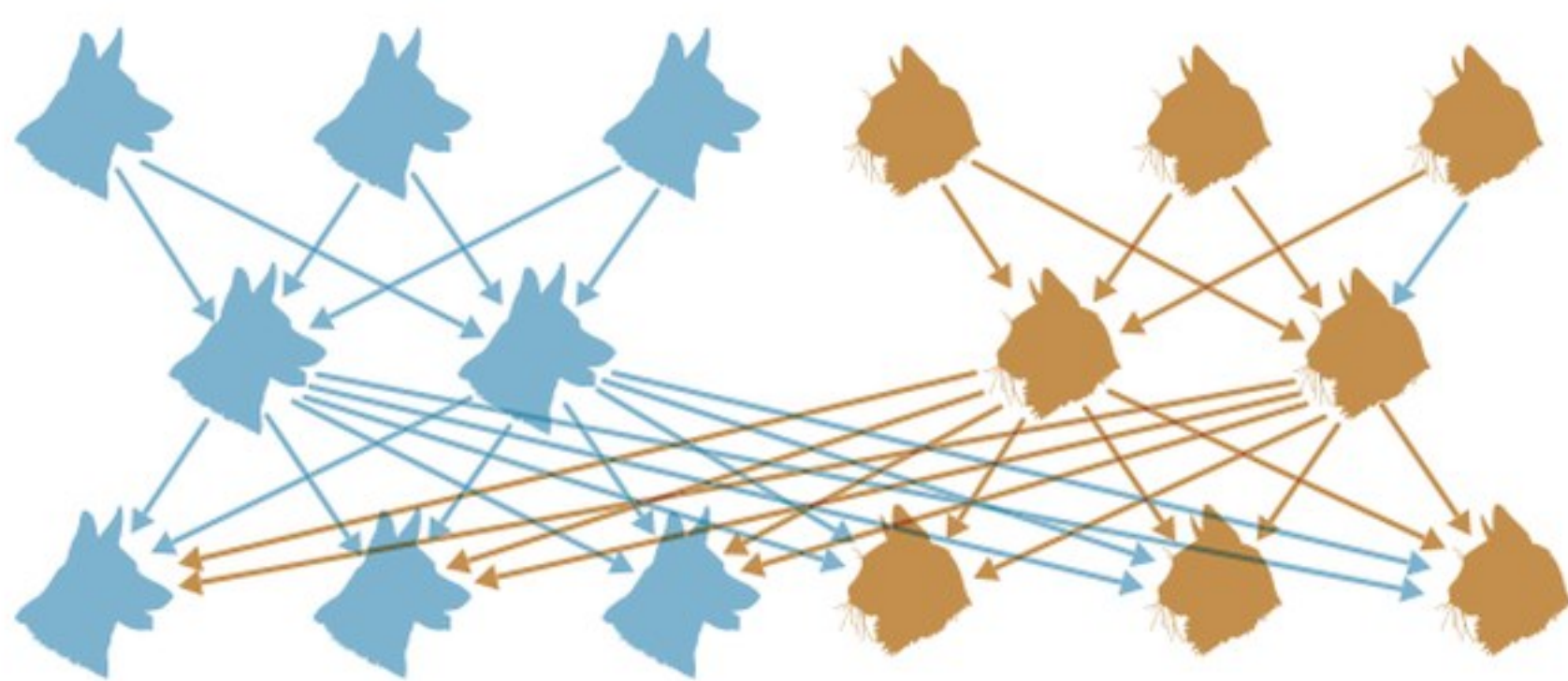


On pousse le modèle à recontextualiser virtuellement ses connaissances dans un cadre plus global



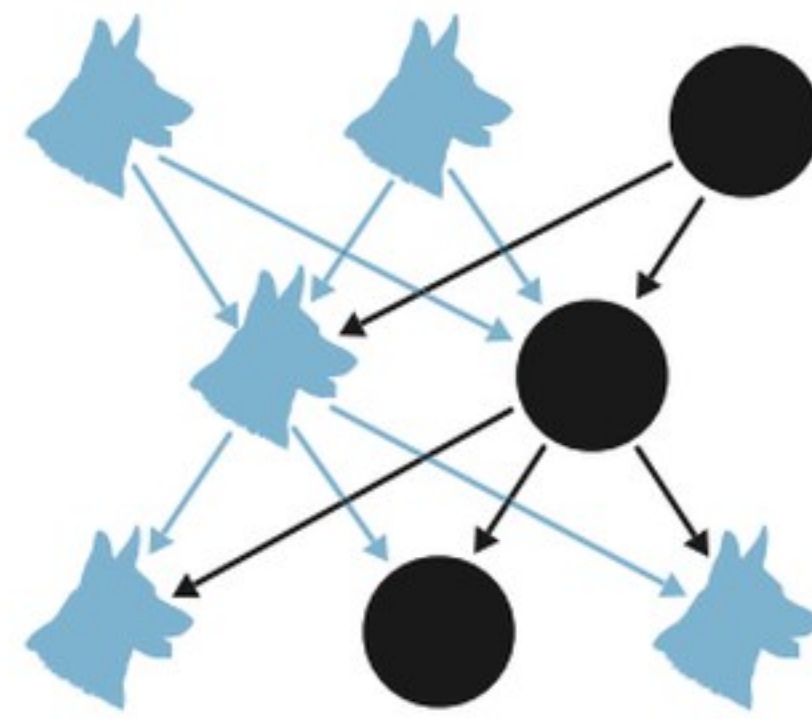
TIMOTHÉE LESORT

Chercheur en informatique à l'université de Montréal



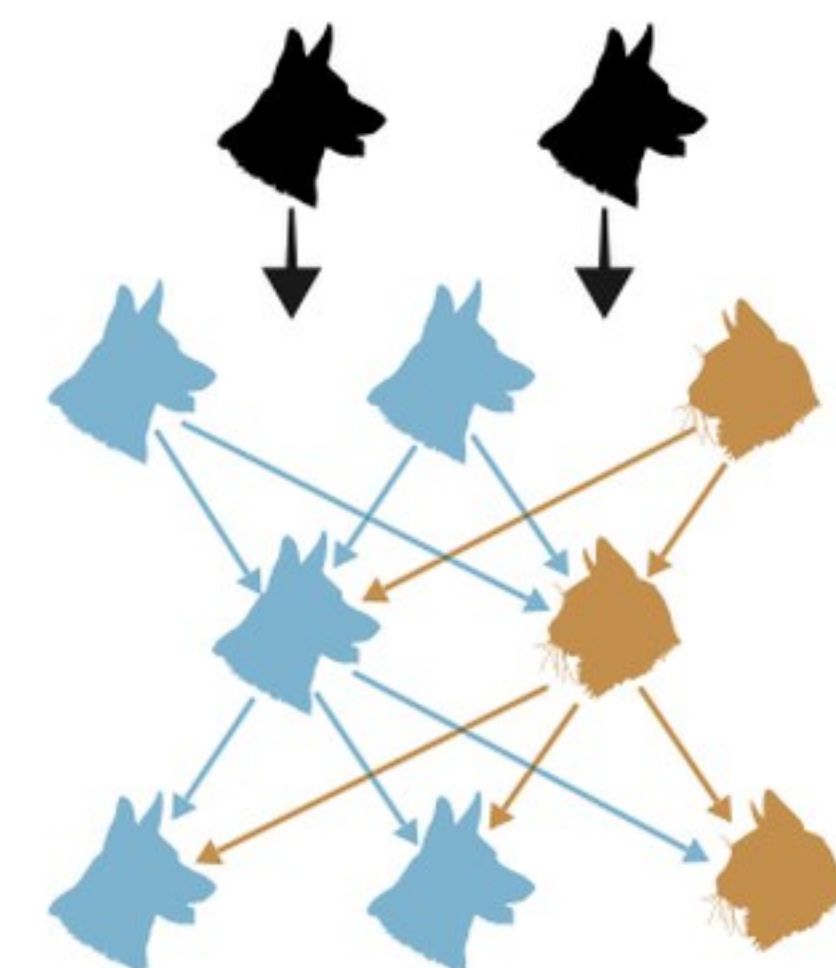
### Solution B: ajouter un réseau supplémentaire

Pour apprendre à l'IA la tâche 2, au lieu d'utiliser le même réseau de neurones, on en crée un de toutes pièces (en orange). Grâce au modèle unique constitué, l'IA sait reconnaître les races de chats comme de chiens. Mais ce réseau coûte très cher et grossit à mesure que les tâches s'accumulent, ce qui peut le rendre encombrant.



### Solution C: isoler les meilleurs neurones

Lors de la tâche 1, on identifie les neurones importants pour reconnaître les chiens (en bleu). Puis on les pénalise lors de la tâche 2, pour qu'il soit difficile de les modifier. Les autres neurones (ronds noirs) servent à la reconnaissance des chats. À la fin, l'IA reconnaît chats et chiens. C'est la méthode choisie par DeepMind.



### Solution D: faire des rappels de la tâche 1

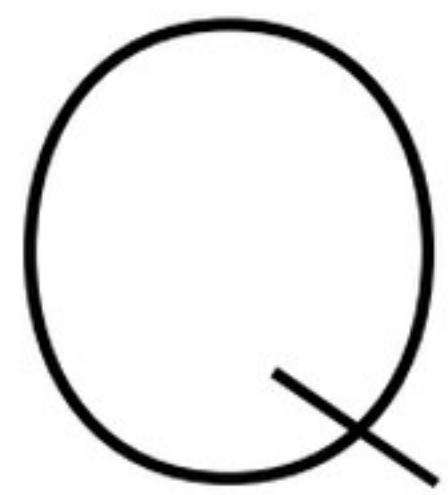
Pour qu'il n'oublie pas, on pousse le réseau à réviser ses précédents apprentissages tandis qu'il s'attelle à la tâche 2. Pour cela, soit les chercheurs injectent des images de chiens (en noir) utilisées lors de la tâche 1, soit ils ordonnent à une IA indépendante de générer et injecter des images (en noir) dans le réseau.





# Aux origines du clitoris

Longtemps délaissé, l'organe féminin sort peu à peu de l'oubli. Il surprend sans cesse les chercheurs par la diversité de ses formes dans le vivant. Avec une question centrale : celle de son rôle dans la reproduction.



quel est le point commun entre une tortue femelle, une jument et une humaine ? Leur clitoris ! Ce petit organe érectile de l'appareil génital féminin est arboré par quasiment tous les amniotes, ces tétrapodes dotés d'un sac amniotique qui doit pouvoir protéger le fœtus. Seuls les oiseaux en seraient démunis. Pourtant, si l'on connaît très bien l'autre sexe – on s'est penché sur des pénis en tire-bouchon, à épines ou encore détachables –, le clitoris des animaux, lui, reste auréolé de mystère. Pourquoi ?

Le fait qu'il soit parfois minuscule ou dissimulé a sûrement joué un rôle. *“Le clitoris des crocodiles, par exemple, peut être imposant, mais il se situe à l'intérieur du canal vaginal. Pour l'observer, il n'y a pas d'autre solution que d'ouvrir le vagin,* pointe Patricia Brennan, biologiste spécialiste de l'évolution des organes génitaux au Mount Holyoke College, aux États-Unis. Mais la principale raison de notre méconnaissance est d'abord morale : le clitoris a longtemps été tabou. *“Le*

*monde de la recherche considérait que les mâles étaient passionnants à étudier et les femelles ennuyantes, témoigne la biologiste. Il faut garder à l'esprit que la reproduction sexuée est la rencontre entre les gamètes d'un mâle et d'une femelle. Étudier les deux sexes est crucial pour comprendre l'évolution de la reproduction.”* Ainsi, en France, l'organe n'a fait son entrée dans les manuels scolaires qu'en... 2017 !

Reste que le tabou commence à tomber. Des clitoris en tout genre sont découverts dans la nature. Début 2022, une étude dirigée par Patricia Brennan a montré que les femelles des grands dauphins possédaient un clitoris similaire à celui des humaines, logé à l'entrée du vagin. En décembre dernier, la chercheuse australienne Megan Folwell et son

équipe ont décrit pour la première fois non pas un, mais deux hémiclitoris dissimulés sous la queue des serpents femelles – de quoi concurrencer le double hémipénis des serpents mâles. L'article a fait grand

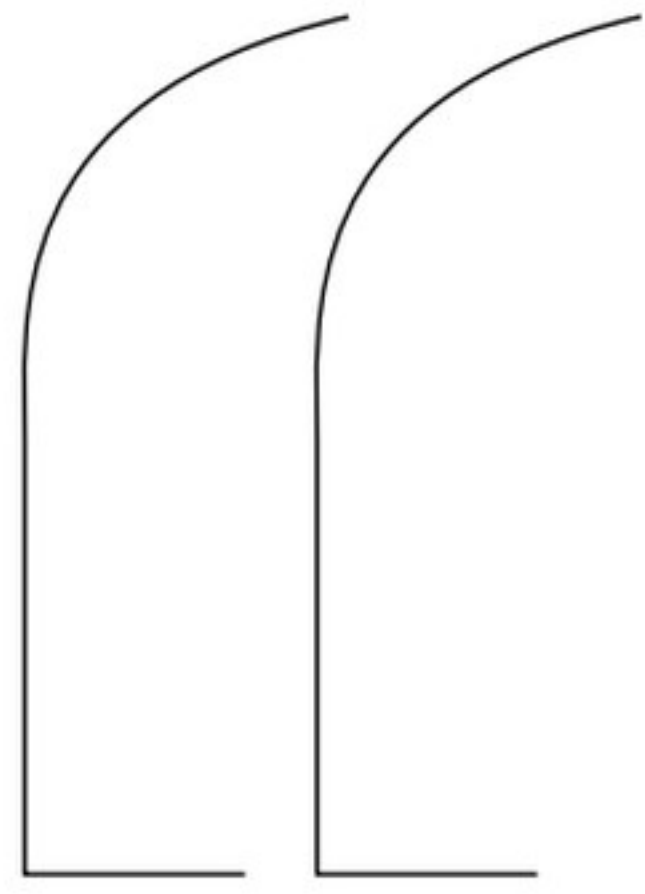
## Repères

La première description d'un clitoris humain daterait de 1559. Mais il faut attendre encore 400 ans, en 1998, pour que son anatomie interne soit modélisée dans sa totalité.

bruit. Il faut dire que *“certaines études présumaient que l'hémiclitoris chez les serpents avait été perdu au cours de l'évolution”*, raconte Megan Folwell. En fait, →

< Ce microbachius, de 35 mm de long, est un poisson qui vivait il y a environ 385 millions d'années, et le plus vieil animal connu à s'être reproduit par fécondation interne. Ses parties génitales (en bas) rendent compte d'une évolution qui a généré le clitoris (et le pénis).

PROF. JOHN LONG, FLINDERS UNIVERSITY - M.TUMELAIRE

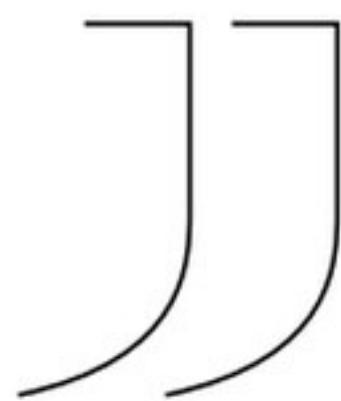


*Il y aurait eu des apparitions indépendantes, avec des fonctionnements différents selon les espèces*



**EMMANUELLE  
POUYDEBAT**

Chercheuse en biologie de l'évolution au CNRS et MNHN



les clitoris seraient plus présents qu'on ne le pensait dans le règne animal. Leur taille varie selon les espèces, et leur diversité est probablement équivalente à celle des pénis. La hyène tachetée, par exemple, est dotée d'un organe imposant, d'environ 20 cm, grâce auquel elle copule, urine et accouche. Sur l'île de Madagascar, le clitoris de la femelle fossa se couvre d'épines jusqu'à sa puberté, se confondant avec le pénis de ses congénères – un stratagème qui lui permettrait d'éviter l'assaut des mâles.

### UNE FASCINANTE ADAPTATION

Ces découvertes ne font pas que décrire les différents visages de l'organe; elles permettent aussi d'en retracer l'évolution et de mettre le doigt sur... son origine! Ainsi, le clitoris serait apparu il y a 400 millions d'années, au beau milieu du Dévonien, alors que la vie aquatique migrait vers la surface terrestre. À l'époque, la fécondation était externe: les femelles expulsaient des ovules, et les mâles y déposaient des gamètes pour les féconder. Sauf qu'une fois sur la terre ferme, ce système a montré ses limites: à l'air libre, les semences sèchent!

Par un fascinant processus d'adaptation, la fécondation s'est alors internalisée: la femelle a conservé ses ovules à l'intérieur de son corps, et le mâle lui a directement apporté ses spermatozoïdes. Pour cela, il s'est équipé d'un organe tout en longueur, capable de se durcir et de pénétrer le corps de la femelle: le pénis. En parallèle, les femelles ont développé leur équivalent: le clitoris. Les deux organes reproducteurs seraient donc nés en même temps. Rien d'étonnant: ils se développent à partir du même tissu embryonnaire. Mais attention, *“le clitoris n'est pas un minipénis ou une forme vestigiale du phallus, signale Patricia Brennan. Au cours de l'évolution, il s'est adapté à la morphologie de la femelle pour prendre des formes très variées.”*

Quant à savoir si tous les clitoris et pénis du monde descendent d'un même ancêtre, autrement dit s'il a existé un pénis et un

DRFP - BRUNO BOURGEOIS

## Des clitoris dans toutes les branches d'amniotes

Aujourd'hui, on estime qu'au moins 10 000 espèces sont dotées d'un clitoris. Avec des formes variant beaucoup selon les familles animales.

### CHEZ LES RONGEURS

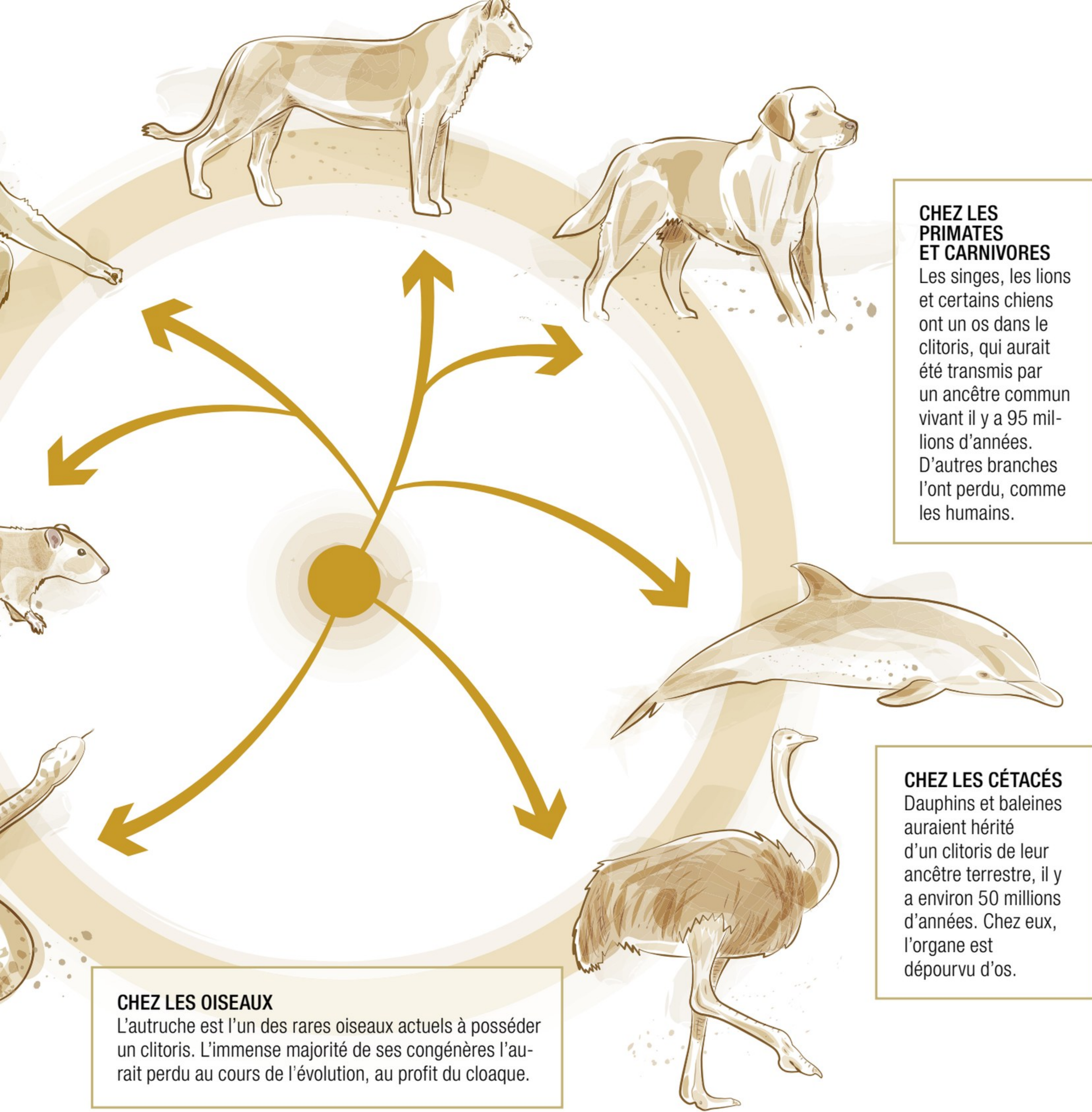
Les rates sont pourvues d'un clitoris, qui est composé d'un os.

### CHEZ LES REPTILES

La présence d'un clitoris chez les reptiles (serpents, lézards, crocodiles...) permettrait de faire remonter la naissance du clitoris à il y a 310, voire 320 millions d'années, à moins d'une apparition spontanée.

clitoris “originels”... Là, l'incertitude règne. *“C'est une vraie question, reconnaît Emmanuelle Pouydebat, chercheuse en biologie de l'évolution au CNRS et au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Nous n'en savons pas encore assez pour répondre. Il semble néanmoins qu'il y ait eu des apparitions indépendantes, avec des fonctionnements et anatomies différents selon les espèces et selon leurs comportements sexuels.”* Le clitoris aurait ainsi pu





**CHEZ LES PRIMATES ET CARNIVORES**  
 Les singes, les lions et certains chiens ont un os dans le clitoris, qui aurait été transmis par un ancêtre commun vivant il y a 95 millions d'années. D'autres branches l'ont perdu, comme les humains.

**CHEZ LES CÉTACÉS**  
 Dauphins et baleines auraient hérité d'un clitoris de leur ancêtre terrestre, il y a environ 50 millions d'années. Chez eux, l'organe est dépourvu d'os.

**CHEZ LES OISEAUX**  
 L'autruche est l'un des rares oiseaux actuels à posséder un clitoris. L'immense majorité de ses congénères l'aurait perdu au cours de l'évolution, au profit du cloaque.

être inventé plusieurs fois, dans différentes branches du vivant, à l'instar du pénis. Le puzzle est d'autant plus difficile à reconstituer que les organes génitaux évoluent vite chez les animaux à fécondation interne. Alors que la plupart des oiseaux semblent ne pas avoir de clitoris, l'autruche en possède un. Des chercheurs suspectent que l'organe soit présent chez 3 % des espèces d'oiseaux actuelles, celles dont les mâles possèdent un pénis. Certains vont plus loin, suppo-

sant qu'au départ, tous les oiseaux avaient un clitoris. L'organe aurait ensuite disparu chez 97 % d'entre eux, se faisant peu à peu remplacer par le cloaque.

**UN OS DANS L'HISTOIRE**

Pour remonter la piste du clitoris dans l'arbre évolutif, les scientifiques s'appuient sur des similitudes entre espèce afin de créer des ponts et débusquer les embranchements. La présence d'un os dans le clitoris, →

équivalant à l'os pénien chez les mâles, est ainsi observée chez des carnivores et certains primates. L'apparition de l'os dans le phallus serait liée à la compétition pour la reproduction : l'os augmente la durée de la pénétration. Le rôle de l'os clitoridien, par contre, n'a pas été identifié.

“Chez les mammifères, cet os serait apparu avant le plus récent ancêtre commun aux carnivores et aux primates, il y a environ 95 millions d'années, développe Emmanuelle Pouydebat. Au fil d'aléas évolutifs, il aurait disparu de certaines branches, dont celles des marsupiaux ou les humains. Tandis que les mammifères marins, comme les dauphins

*fonctions ont bien été identifiées, acte Emmanuelle Pouydebat. C'est incroyable que l'on puisse encore penser le contraire.*” Et Patricia Brennan d'appuyer : “S'il n'avait eu aucune fonction, il n'aurait pas évolué comme il l'a fait, car cela n'aurait eu aucun intérêt.”

#### UN PLAISIR UTILE

À l'origine, chez l'humain, le clitoris aurait déclenché rien de moins que l'ovulation via l'orgasme, comme le pénis libère le sperme lors du climax sexuel. “Puisque l'orgasme est associé à l'éjaculation chez l'homme et à des sécrétions des glandes ovariennes et urétrales chez la femme, l'orgasme sexuel pourrait provenir du réflexe ancestral de libération des gamètes”, note Thierry Lodé dans une étude publiée en 2019. Une théorie également avancée en 2016 par Mihaela Pavlicev et Günter Wagner, chercheurs en biologie de l'évolution, qui avaient soupçonné que le clitoris s'est éloigné du vagin lorsque les humaines ont adopté l'ovulation spontanée, régulière et par cycle.

Mais dire que le clitoris aurait changé de place et qu'il n'est plus forcément nécessaire à l'ovulation ne signifie pas qu'il n'a plus de fonction ! Sa stimulation permettrait, entre autres, l'augmentation de la lubrification vaginale, la

décontraction de l'entrée du vagin pour faciliter le coït et préparerait l'appareil reproducteur à recevoir le sperme. Bien plus, le plaisir qu'il octroie encouragerait les femelles à engager des rapports sexuels et à les prolonger. Ce qui multiplierait les chances de reproduction. D'ailleurs, l'orgasme féminin semble toujours accompagné d'un clitoris dans le monde animal (voir encadré). “Nous n'en avons jamais découvert non fonctionnel, c'est-à-dire sans nerfs”, révèle Patricia Brennan. Mais impossible d'affirmer l'hypothèse avec certitude, si peu de clitoris ont été étudiés...” Cette zone très méconnue, à côté de l'origine du monde, reste donc à explorer.

## Pas d'orgasme sans clitoris ?

**Le septième ciel n'est pas réservé aux humains. Chez d'autres espèces, comme certains primates, les rats, chiens ou chats, “les femelles se mettent à suer, hyperventiler, émettre des sons, rouler des yeux, et leur pression artérielle augmente”, détaille Patricia Brennan. Les dauphins, adeptes de la masturbation, prendraient bien du plaisir grâce au sexe. Les nerfs sur les hémiclititoris des serpents présagent d'une zone sensible. Les femelles de ces espèces ont un clitoris... Est-il indispensable à l'extase ? Pas sûr. Selon une étude de 2018, les mouches mâles, dépourvues de pénis, atteignent l'extase en libérant du sperme. Reste à savoir si les femelles aussi... Alors l'orgasme serait, comme le dit Thierry Lodé, avant tout une affaire de glandes.**

et les baleines, auraient hérité des appareils génitaux de leur ancêtre terrestre, il y a environ 40 millions d'années. “Les choses se sont faites progressivement, détaille Thierry Lodé, chercheur en écologie évolutive à l'université de Rennes 1. Les papilles sensibles, situées à l'entrée des conduits sexuels chez les femelles, vont mettre en place des systèmes de plus en plus sensibles, reliés à des appareils de l'hypothalamus qui vont engendrer un mécanisme de plaisir.”

Mais pas que. Derrière la question de l'évolution du clitoris se cache celle de son rôle, ou plutôt de ses rôles. “Évidemment, les clitoris jouent un rôle dans la reproduction, ses



# C'est dans nos vies

## Sommaire

- 113 **En pratique**
- 116 **Technofolies**
- 120 **À voir, à lire**
- 122 **Questions Réponses**
- 128 **Mots-croisés**
- 130 **Bulle de science**

## En pratique



### La couleur de la vaisselle influence le goût des aliments

Mais pas pour tout le monde! Des chercheurs britanniques ont séparé des volontaires adultes en deux groupes –les mangeurs “difficiles” et les personnes mangeant de tout– puis leur ont servi de la nourriture dans des bols rouges, blancs et bleus. Résultat? Chez les mangeurs difficiles, la couleur du bol change la perception du goût: la nourriture leur apparaît plus salée dans les bols rouges et bleus, et moins appétissante dans les rouges. *“Food Quality and Preference”, janvier 2023*

SHUTTERSTOCK

# Compter vos verres d'eau ne sert à rien

Boire 2 litres d'eau par jour environ : c'est la recommandation donnée habituellement par les experts en santé. Sauf qu'elle serait obsolète, vient de démontrer une large étude internationale ! Les scientifiques ont demandé à 5604 personnes de 26 pays, âgées de 8 jours à 96 ans, de boire 100 ml d'eau "marquée" par du deutérium – un isotope de l'hydrogène. Puis ils ont mesuré le taux d'élimination de cet élément dans les urines une semaine durant.

"Nos travaux sont les premiers à mesurer de façon rigoureuse la quantité d'eau remplacée, chaque jour, chez des milliers d'humains", souligne Klaas Westerterp, chercheur en énergétique humaine à l'université de Maastricht, aux Pays-Bas, et coauteur de l'étude.

Résultat : le volume d'eau renouvelé quotidiennement varie fortement, avec des quantités allant de 1 litre à 6 litres par jour selon l'âge, le sexe, le niveau d'activité physique, la masse corporelle ou encore l'environnement.

*"Comme l'eau corporelle est apportée également par les aliments, les volumes mesurés ici ne correspondent évidemment pas à ceux qu'il faut boire, souligne Klaas Westerterp. En revanche, cela indique clairement qu'il n'existe pas une recommandation unique adaptée à toutes et tous."*

Pas besoin, donc, de se forcer à boire 2 litres d'eau par jour très exactement. Comme le préconise le Programme national nutrition santé, mieux vaut plutôt s'hydrater régulièrement et sans attendre d'avoir soif. **Kheira Bettayeb**

*"Science", nov. 2022*



## Le congé paternité préserve la santé mentale des pères

Plus de 10% des pères sont susceptibles de développer une dépression post-partum. Or des chercheurs français ont démontré que le congé paternité réduit ce risque : sur plus de 11 000 pères suivis, 5,7% de ceux qui n'avaient pas pris de congé ont fait une dépression, contre seulement 4,5% chez ceux qui en avaient bénéficié. *"Lancet Public Health", déc. 2022*

## Trop de télé, enfant, augmente les risques d'addiction à l'âge adulte

Des chercheurs néo-zélandais ont suivi sur 45 ans plus de 1 000 volontaires nés dans les années 70. Ils ont étudié le temps passé devant un écran entre 5 et 15 ans, puis leurs éventuels troubles, adultes, liés à l'alcool, au cannabis, au tabac ou aux jeux. Résultat : plus de 2h d'écran par jour, enfant, est associé, plus tard, à une tendance à l'addiction au tabac et aux jeux. *"IJMHA", sept. 2022*

## Vapoter abîmerait les dents

Des chercheurs de l'université Tufts, aux États-Unis, ont analysé les données de 13216 patients de plus de 16 ans, traités pour des problèmes dentaires entre 2019 et 2022. Parmi ceux qui utilisaient des e-cigarettes, près de 80% ont été classés à risque élevé de caries; contre 60% de ceux qui ne vapotaient pas. La cause? Une fois transformé en aérosol et inhalé, le liquide des e-cigarettes, souvent riche en sucre, formerait un film qui se collerait aux dents et favoriserait l'apparition de caries. D'où le conseil de se rincer la bouche après vapotage. "J. Am. Dent. Assoc.", déc. 2022



## La règle des 3-30-300 est vraiment bonne pour la santé

Des chercheurs espagnols ont analysé, chez plus de 3000 Barcelonais, l'impact sur leur bien-être de la règle dite "des 3-30-300": voir au moins trois arbres de chez soi; vivre dans un quartier arboré à 30%; et ne pas habiter à plus de 300 m d'un parc ou d'une forêt. Résultat: les personnes domiciliées dans des zones respectant cette règle présentaient bel et bien un meilleur état psychologique général. "Environmental Reserach", déc. 2022

## Baissez la lunette des toilettes avant de tirer la chasse!

Par lasers et caméras, des ingénieurs américains ont visualisé la projection des gouttelettes d'eau –pouvant contenir des pathogènes– après avoir tiré la chasse sans baisser la lunette. Éjectées vers le haut et le mur arrière, elles atteignent 1,5 m de hauteur en 8 s! "Scien. Reports", déc. 2022

## Pour la planète, mieux vaut nourrir votre animal d'aliments secs

Les croquettes sont plus écologiques que la pâtée, a conclu une étude brésilienne. En effet, 90% des calories contenues dans l'alimentation humide proviennent d'ingrédients d'origine animale, contre 45% pour les produits secs –le reste étant complété par des calories végétales dont l'impact écologique est moins important. Ainsi, selon les chercheurs, un chien mangeant pour 500 kcal de croquettes par jour rejetterait 830 kg de CO<sub>2</sub> contre... 6500 kg s'il mange de la pâtée! "Scientific Reports", nov. 2022



SHUTTERSTOCKx3



Thomas Delozier  
tdelozier@reworldmedia.com



Sur chaque branche, un haut-parleur est dirigé vers les oreilles de l'utilisateur. À côté, une molette permet de contrôler le volume, une autre de jouer sur la luminosité de l'écran.

# Une télé dans les lunettes

Prix : env. 500 €  
Rens. : <https://nxtwears.tcl.com/>

Voici les NXTwear S, du constructeur chinois TCL. Derrière les verres, ces montures cachent deux écrans micro-oled HD (1080p), un devant chaque œil. Il suffit de chausser la paire pour voir apparaître devant soi une télévision virtuelle de 130 pouces. L'utilisateur peut alors connecter les NXTwear S à tous types d'appareils – PC, Mac,

console de jeu, smartphone... – pour y diffuser un film, jouer à un jeu vidéo, voire s'en servir comme un second écran, si les lunettes sont connectées à votre ordinateur. Le tout dans la plus grande discrétion : seul l'utilisateur voit et entend ce que diffusent les NXTwear S. On peut alors travailler sur un document confidentiel au beau milieu

d'un café ou profiter d'un grand écran dans le train ou au lit...

Si l'expérience s'avère convaincante – parce qu'elle l'est –, ce n'est pas tant par la qualité de l'image, plutôt bonne malgré une perte de détail sur les bords, que par la simplicité d'utilisation : les NXTwear S se lancent en quelques secondes, et sont compatibles avec la plupart

✓  
**TESTÉ**  
par la rédaction



Dépourvues de batterie, les NXTwear S ne pèsent que 82 g. Elles sont alimentées exclusivement par la machine à laquelle elles sont connectées, via un câble USB-C.

des produits disponibles sur le marché, pour peu qu'ils aient un USB-C Display Port ou qu'on possède un adaptateur.

En outre, la monture se révèle plutôt agréable à porter. Un regret toutefois: il n'est pas possible de poser ces lunettes par-dessus sa propre paire. TCL fournit bien des verres à faire adapter par un opticien, mais

alors vous ne pourrez pas les prêter à quelqu'un d'autre. Dommage pour un accessoire aussi spectaculaire. Reste donc à TCL à corriger cet inconvénient, améliorer l'écran, et proposer un tarif un peu plus intéressant pour que ses NXTwear S deviennent réellement attractives. Car, pour une fois, les usages sont déjà là... **T.D.**



## Le purificateur d'air tout écologique

Prix : 387 €  
Rens. : [briiv.co.uk](http://briiv.co.uk)

Pour ne plus s'embarasser de filtres à air impossibles à recycler, voici le Briiv. Ce purificateur d'air, signé de la société britannique éponyme, utilise exclusivement des matériaux naturels pour filtrer l'air : mousses, fibres de noix de coco, charbon de bois et autres peuvent ainsi être insérés sous sa cloche. Pour le reste, le Briiv est composé en majorité de bioplastique, de verre recyclé, et ses composants électroniques ont été assemblés localement. **S.F.**

DF

## L'enceinte qui s'adapte à son environnement

Prix : env. 730 €  
Rens. : devialet.com

Où que vous soyez dans votre salon, l'enceinte Mania, de la marque française Devialet, vous promet un son impeccable. Son secret ? Un système adaptatif à 360° reposant sur une technologie de cartographie acoustique : un algorithme et quatre microphones, le tout capable de déterminer comment adapter au mieux la diffusion du son dans la pièce. L'enceinte Mania offre en outre un son puissant de 95 dB grâce à ses 4 haut-parleurs ! Assez imposante (17,6x19,3x13,9 cm), elle pèse 2,3 kg, résiste aux éclaboussures, est dotée d'une poignée intégrée pour faciliter le transport, et sa batterie promet jusqu'à 10 heures de lecture continue (à un volume modéré). À noter qu'une station de charge à induction – donc sans fil – est également disponible en option.



K.T.

## Une luge gonflable et durable

La Pumpslice peut porter 2 personnes pour un poids total de 140 kg.

Prix : env. 80 €  
Rens. : decathlon.fr

Si les luges gonflables du marché ressemblent davantage à des bouées, la Pumpslice a la particularité de disposer de deux freins pour contrôler et surtout sécuriser ses glissades. Cette luge, conçue par Wedze, une marque de Decathlon,

peut embarquer 2 personnes grâce à ses grandes dimensions (120x60x46 cm) et supporter jusqu'à 140 kg. Elle a par ailleurs été pensée pour être durable, avec son enveloppe renforcée en plastique souple PET, ainsi que les pièces détachées disponibles pour la réparer. Il est ainsi possible de changer la chambre à air gonflable, la valve de gonflage ou encore le set de freins. Une fois dégonflée, la Pumpslice se replie directement dans son sac de rangement intégré (80x25x16 cm). Idéal pour ne pas trop se charger sur la route des vacances !

L.B.



## Les tasses qui subliment le goût du café

Prix : env. 50 €  
(coffret de 4 tasses en verre)  
Rens. : [delissea.com/fr/](http://delissea.com/fr/)

Pour nous permettre de déguster au mieux notre espresso matinal, le Français Arnaud Baratte a conçu les tasses Delissea. Leur design original – en porcelaine ou en verre – n'est pas qu'esthétique. Il cache en fait une innovation brevetée qui promet de développer tous les arômes du café et de diminuer son amertume. Le principe repose sur sa spirale intérieure, dont l'inclinaison a été savamment étudiée pour oxygéner le café lorsqu'on le verse dessus. Résultat : celui-ci est moins chaud et, surtout, moins amer. Inutile de le sucrer ! En plus, les bords fins et incurvés de la tasse permettent de tapisser davantage de papilles gustatives sur la langue, donc de mieux apprécier le goût.

L.B.



## Une prise universelle pour recharger sa voiture

Prix : env. 1 500 €  
Rens. : [juice.world/fr/des-produits/juice-booster-2/](http://juice.world/fr/des-produits/juice-booster-2/)

Pour ne plus tomber en panne, la société suisse Juice a inventé le Juice Booster 2. Ce câble permet de connecter votre véhicule électrique à toute source d'électricité

– bornes publiques ou prises de courant – grâce à 30 fiches adaptatrices.

L'intensité de la charge se règle ensuite automatiquement.

S.F.



## Le SUV qui reconnaît son propriétaire

Prix : env. 66 000 €  
Rens. : [genesis.com](http://genesis.com)

C'est une première mondiale : pour ouvrir ce SUV électrique, il faut montrer... son visage. En effet, le GV60, du coréen Genesis, intègre la même technologie que les smartphones : un capteur photo doublé d'un algorithme vous reconnaît et déverrouille votre voiture. Et pour la démarrer, il faut présenter son empreinte digitale. En cas de non-fonctionnement du système, une clé d'urgence peut être utilisée...

E.T.-A.



## Le protège-dents augmenté

Prix : env. 180 €  
Rens. : [orbinnovations.com/](http://orbinnovations.com/)

Ce protège-dents de la start-up britannique Orb Innovations promet de surveiller la santé et les performances des sportifs en temps réel. Pour cela, il est truffé de capteurs ! Fréquence cardiaque, nombre de pas, nombre d'impacts à la tête... il est capable de relever et transmettre en direct aux coachs – via une application – jusqu'à 20 données de santé. L'autonomie annoncée est de plus de 4 h.

K.T.



DR

ESCAPE GAME

# Un jeu pour sensibiliser à l'écologie

À Gometz-le-Châtel, au sud de Paris, la formatrice en écocitoyenneté Karine Balzeau et le paléoanthropologue Antoine Balzeau viennent d'ouvrir un escape game –chez eux–, dans lequel les joueurs doivent enquêter sur le vol d'un fossile. Une expérience inédite, instructive et immersive, qui entend aussi bien divertir qu'informer sur les questions écologiques et climatiques.

PROPOS RECUEILLIS PAR **KASSIOPÉE TOSCAS**



Nous proposons quelque chose de foisonnant

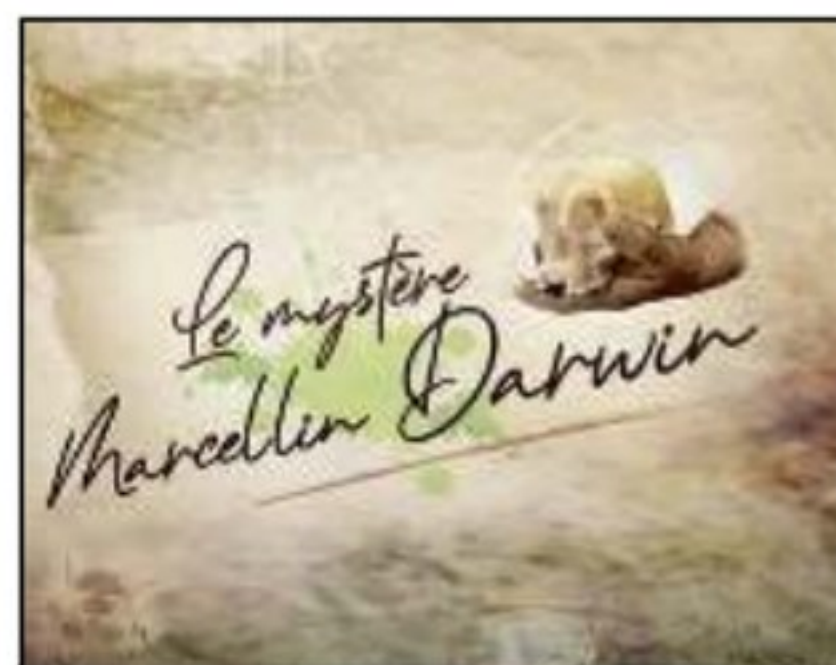
**KARINE ET ANTOINE BALZEAU**

Formatrice en écocitoyenneté/  
paléoanthropologue

À voir à lire

## Science&Vie: Quelle est l'intrigue qui fonde cet escape game ?

Antoine Balzeau: Un fossile humain sur lequel je travaillais –le crâne de l'homme de Florès– a disparu. On l'a cherché partout, sans succès, et le seul suspect potentiel semble être Marcellin Darwin, l'un de mes plus brillants étudiants qui loge chez nous, pourtant sans histoires. Grimés en employés de l'entreprise de nettoyage Green Clean, les participants ont 1 heure pour découvrir si ces soupçons sont fondés; retrouver le crâne; et comprendre pourquoi il a été subtilisé...



ESCAPE GAME

**Le mystère Marcellin Darwin**

- Gometz-le-Châtel (Essonne)
- <http://www.lemystere-marcellindarwin.fr/>

## S&V: Pourquoi avez-vous mis sur pied un tel scénario ?

A.B.: L'intrigue est un prétexte pour aborder l'histoire des humains de Florès et, finalement, parler d'écologie. Leur environnement insulaire a influencé leur évolution, tout comme celle des animaux: les rats sont devenus géants, les éléphants nains, et ces humains ont développé un crâne particulièrement petit –alors qu'ils étaient contemporains de *Sapiens*. C'est un bel exemple pour montrer qu'avec le temps, la faune et la flore se transforment sous l'effet des conditions environnementales. Une

énigme sur les variations du climat met aussi en parallèle, à travers une grande carte, le rythme naturel des changements climatiques passés et le rythme accéléré de celui que nous vivons actuellement. Le but étant que les participants comprennent qu'il est important d'agir en tant que citoyens. Et mis à part l'histoire de fond et les énigmes du jeu, plusieurs détails dans le studio de Marcellin diffusent aussi un message sur l'écocitoyenneté: l'escape game est d'ailleurs porté par "Les Amis de la coccinelle à 7 points". Cette association, qui a été créée par Karine





Balzeau, s'est donné pour mission de former les gens à la connaissance de la nature et à sa préservation. Cela fait une grande différence avec les jeux d'évasion traditionnels. À la fin, nous échangeons avec les participants pour leur expliquer certaines notions scientifiques.

**S&V: L'objectif est donc de divertir, mais aussi de sensibiliser...**

A.B.: Oui, notre souhait premier était de créer un outil pédagogique capable d'attirer un public qui ne s'intéresse pas forcément aux questions climatiques. En jouant à

notre jeu, les participants ont la possibilité d'en apprendre davantage sur l'écocitoyenneté et, ainsi, de prendre conscience de la fragilité de notre environnement. Toutefois, on n'a pas voulu le faire n'importe comment: cet escape game se devait d'être de qualité professionnelle et adapté à des équipes habituées à ce genre de pratiques. Nous avons donc évité de raconter une histoire trop linéaire, où l'on doit trouver un cadenas, et ainsi de suite... Nous proposons en réalité quelque chose de plus foisonnant, avec des mécanismes plus complexes – dont certains que l'on ne trouve dans aucun autre escape game! Sans oublier que le faire chez nous, dans une vraie maison de banlieue, ajoute un effet de surprise et de réalisme qui immerge complètement les joueurs.

**S&V: À quel type de public cet escape game s'adresse-t-il?**

A.B.: À tout le monde! Nous voulions que les énigmes soient réalisables aussi bien par des adultes que par des enfants. Et, justement, ça a été un challenge de caler des informations sur l'évolution des stégodons tout en restant accessible à des jeunes de 10-12 ans. Un véritable travail d'équilibriste!

# Le choix de la rédaction

**EXPOSITION**



**Notre-Dame de Paris - Des bâtisseurs aux restaurateurs**

- Cité de l'architecture et du patrimoine
- Du 15 février 2023 au 29 avril 2024
- Tarif plein: 9 €; réduit: 6 €

Le 15 avril 2019, un feu ravage le toit de Notre-Dame. Puis un chantier colossal est vite mis en place. Cette exposition permet d'observer les incroyables sculptures, peintures et vitraux sauvegardés durant les travaux. Et de découvrir la diversité des métiers et techniques utilisés pour restaurer la cathédrale.

**LIVRE**

- Au commencement était le sexe**  
 De Cacilda Jethá et Christopher Ryan  
 Éd. J'ai Lu, 544 pp., 9,80 €



Libérée, décomplexée et frénétique: voilà la sexualité humaine à son origine, selon les auteurs de cet ouvrage. Pour le démontrer, ils entraînent leur lecteur dans les émois des chasseurs-cueilleurs actuels et de ceux de nos cousins, les grands singes. Ainsi, la monogamie n'aurait rien de biologique, et le tabou entourant le sexe serait la cause de bien des maux de société. Une lecture croustillante.

**LIVRE**

- La Petite Histoire du ballon de foot**  
 D'Étienne Ghys  
 Éd. Odile Jacob, 144 pp., 16,90 €



Vous le voyez à la télé, vous avez tapé dedans, mais le connaissez-vous réellement? Ce livre amusant met les ballons de foot à l'honneur et décortiquent leurs secrets: les géométries, les coutures, mais aussi les colles qui sont posées aux ingénieurs qui les créent. L'auteur en profite pour vulgariser "l'effet de spin", en invoquant un certain coup franc de Roberto Carlos marqué en 1997.

**LIVRE**

- À l'aube de nouveaux horizons**  
 Nathalie A. Cabrol  
 Éd. du Seuil, 352 pp., 21 €



Nous penser seuls dans l'Univers est une "absurdité", pour Nathalie A. Cabrol. La directrice du Seti raconte la foisonnante quête de la vie extra-terrestre: la recherche passée, qui a permis des avancées spectaculaires dans la découverte d'exoplanètes, mais aussi les travaux à venir, auxquels le télescope James-Webb participera sans doute... en attendant un signe.

MNH

# Pourquoi le verre est-il transparent ?

Question de Lucienne Mora, Val-de-Reuil (27)

Parce qu'on ne laisse pas le temps à ce matériau de se cristalliser lors de sa fabrication! "Le verre est constitué de 65 à 75 % de dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ )", explique Yann Gueguen, responsable du département Mécanique et verres à l'Institut de physique de Rennes. C'est-à-dire du sable de silice. Les autres composants sont principalement des oxydes de calcium et de sodium, qui ont pour but d'abaisser le point de fusion du  $\text{SiO}_2$  et augmenter la résistance chimique du verre.

Le silicium pur (Si) absorbe la lumière visible et paraît donc noir, mais lorsque cet élément est assemblé avec de l'oxygène, le tout se dote d'une

propriété de transparence: les photons n'interagissent pas avec les électrons du matériau, la lumière n'est pas réfléchiée vers notre œil, et le verre nous apparaît transparent. "C'est quelque chose que l'on retrouve souvent dans la nature, pointe Yann Gueguen. Alors que l'aluminium pur est gris et opaque, une de ses formes oxydées donne le saphir synthétique translucide utilisé pour les verres de montres de luxe."

## Rendre la silice amorphe

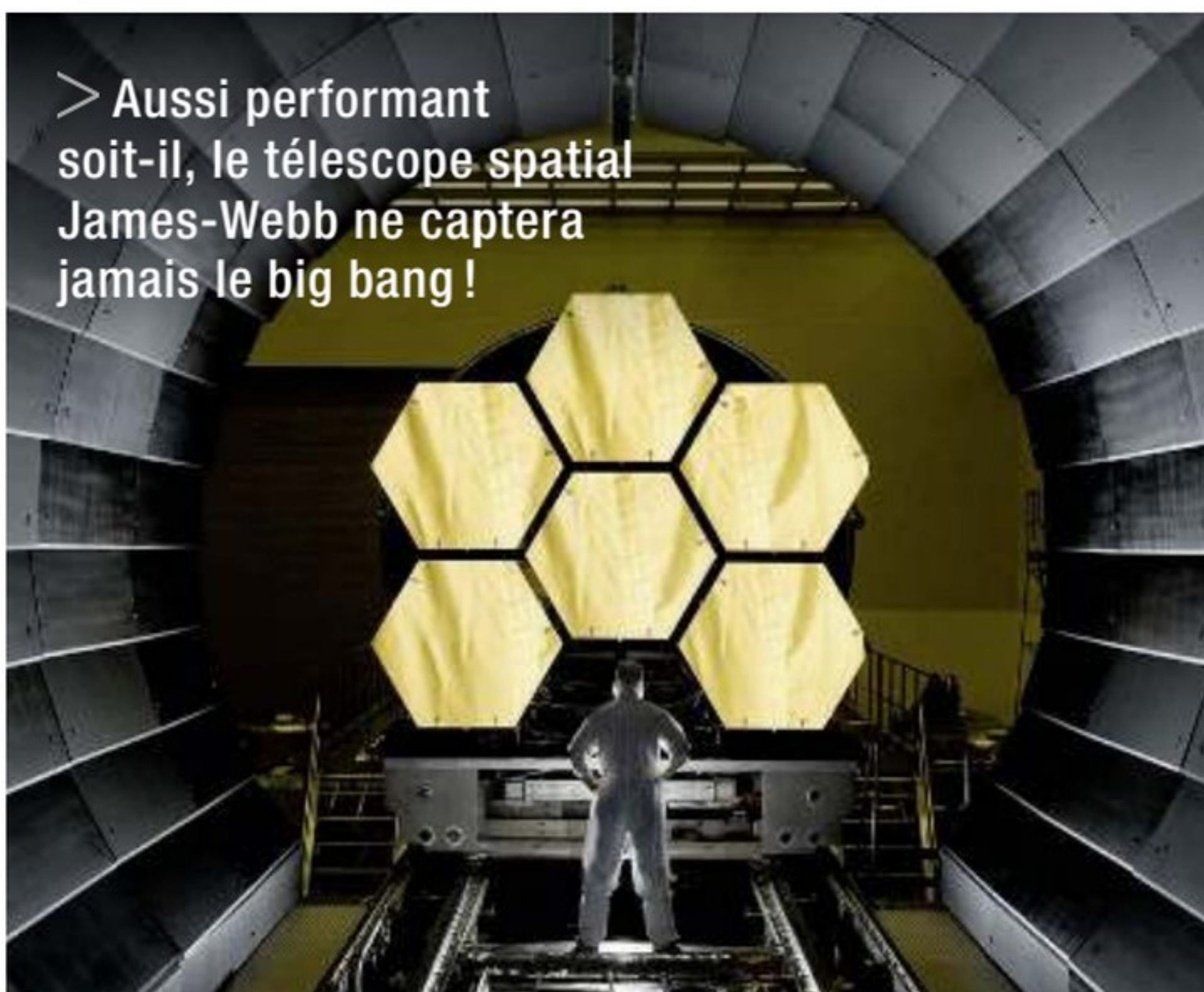
Mais alors, pourquoi le sable qui contient de la silice n'est-il pas transparent? En fait, une grande partie des grains de  $\text{SiO}_2$

qui le constituent forment des cristaux de quartz non entièrement cristallisés: ils présentent des impuretés déviant la lumière. Or, pour être translucide, le  $\text{SiO}_2$  doit être parfaitement cristallisé – "C'est le cas d'un quartz 'parfait' qui, lui, est transparent", souligne le physicien – ou, au contraire, être amorphe, c'est-à-dire ne pas avoir cristallisé du tout. Un état qu'il est possible d'obtenir en fondant la silice vers  $1\,500^\circ\text{C}$  puis en la refroidissant très rapidement. Ce faisant, le matériau ne présente pas de défauts ou très peu, laisse passer la lumière sans encombre, et offre à nos fenêtres une vue. **S.F.**



Questions Réponses

> Aussi performant soit-il, le télescope spatial James-Webb ne captera jamais le big bang !



## Est-il possible de voir au-

Question de Steve Isabel, Canada

Non, il n'est d'ailleurs même pas possible de voir le big bang lui-même. "Lorsque nous regardons les planètes, les étoiles ou les galaxies, la seule information que nous recevons, c'est de la lumière", précise Nicolas Laporte, astrophysicien à l'univer-

sité de Cambridge, au Royaume-Uni. Comme la vitesse de la lumière est limitée, plus un astre est loin de nous, plus le rayonnement que nous en captions est ancien.

Scruter les débuts de l'Univers revient donc à capter la plus lointaine



^ Fondue à 1 500°C, puis refroidie rapidement, la silice donne un verre transparent.

## delà du big bang ?

lumière possible, le signal électro-magnétique qui a été émis par le cosmos : c'est ce que l'on appelle "le fond diffus cosmologique", situé aujourd'hui à environ 43 milliards d'années-lumière de nous, un instantané de l'Univers à l'époque où il était extrêmement dense et chaud. "Ce rayonnement fossile nous montre

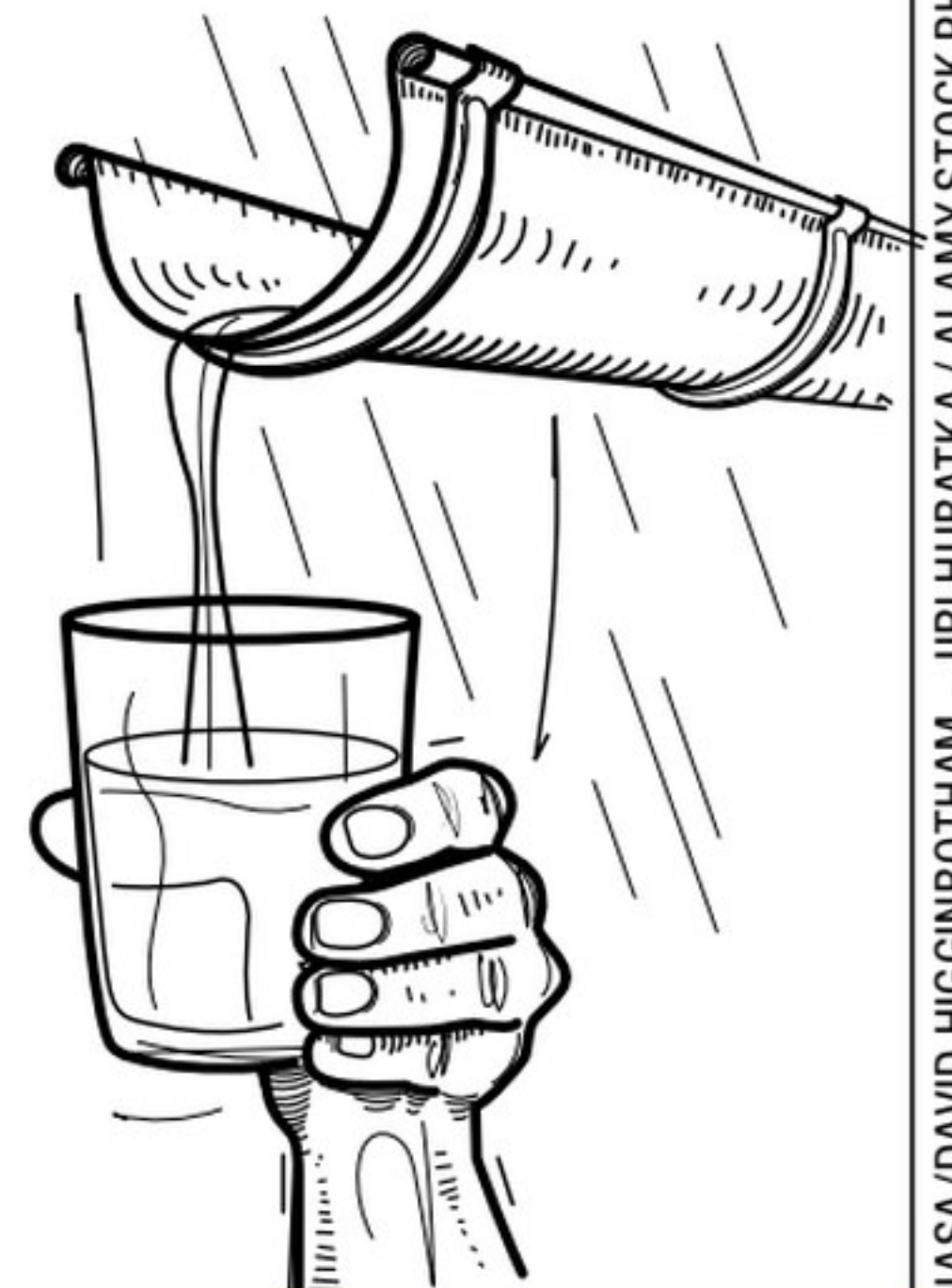
une image de la distribution de matière dans l'Univers... 380 000 ans après le big bang", poursuit Nicolas Laporte. Avant, la lumière ne pouvait pas se propager : il nous est donc impossible de capter quoi que ce soit qui provienne des 380 premiers milliers d'années juste après le big bang.

Par conséquent, il est également inconcevable d'imaginer ce qui existait au-delà de ce dernier. "Les équations mathématiques rendent difficile toute interprétation sur ce qui a pu se passer avant le big bang", estime le chercheur. Le big bang n'a donc rien d'une explosion lumineuse, comme on l'entend souvent. **E.-O.E.**

## Peut-on boire l'eau de pluie ?

Question de Juliette Charpentier, Boulogne-Billancourt (92)

Mieux vaut éviter ! En cause, la présence de substances per- et poly-fluoroalkylées (PFAS), des produits chimiques utilisés dans l'industrie. Rejetés dans l'environnement, ils ne se dégradent pas, d'où leur surnom de "polluants éternels". Ils se retrouvent dans les eaux de surface, s'évaporent avec elles, puis retombent quand il pleut. "Les teneurs en PFAS de l'eau de pluie sont à peu près les mêmes depuis qu'on a commencé à les mesurer il y a 15 ans, précise Ian Cousins, de l'université de Stockholm, en Suède. On sait aujourd'hui qu'ils sont très toxiques pour la santé." L'ingestion de PFAS est en effet associée à des cancers, à l'infertilité ou à des grossesses compliquées. L'eau de pluie est donc jugée impropre à la consommation à l'échelle mondiale. **V.F.**



# Comment le serpent digère-t-il une énorme proie ?

Question de Margaud Cruchaudet, St-Bauzille-de-Montmel (34)

“Comme nous, s’amuse Tobias Wang, chef de la section de zoophysologie à l’université d’Aarhus, au Danemark. Sauf que le processus dure nettement plus longtemps.” Certains serpents, comme les constricteurs, se nourrissent généralement de grandes proies : cervidés, cochons sauvages, autres reptiles... En novembre 2022, en fouillant dans le ventre d’un python mort

en Floride, des chercheurs américains ont en effet découvert un alligator entier de 1,50 m !

À défaut de dents adaptées à la mastication, ces serpents sont obligés de faire passer l’intégralité de l’animal dans leur système digestif. Leur mâchoire très extensible le permet : non seulement elle n’est pas fixée au crâne et peut se désarticuler, mais en plus elle est enveloppée

de tissus très élastiques. La victime est ensuite broyée par les muscles de l’œsophage avant de parvenir dans la section correspondant à l’estomac, où des sucs gastriques – composés surtout d’acide chlorhydrique et d’enzymes – s’emploient à la dissoudre. Ce mécanisme se retrouve chez la plupart des animaux, dont l’humain, mais chez les pythons il prend des proportions démesurées : Tobias Wang a montré qu’au cours de la diges-

tion, la taille de leur intestin peut doubler !

Pour soutenir la production de protéines et l’énergie dépensée, leur cœur bat nettement plus vite et la consommation d’oxygène est multipliée jusqu’à 6. Surtout, alors que notre digestion ne prend que quelques heures, celle des constricteurs peut durer des semaines ! Après cet incroyable effort, le reptile passe des mois – parfois plus d’un an – à se reposer, sans rien avaler. **A.D.**

Questions Réponses

✓ Les serpents disposent d’une gueule et d’un système digestif très extensibles, et ils digèrent pendant des semaines !





^ Le QI d'Einstein (ici, une partie de son cerveau) a été évalué d'après divers écrits.

## Comment est calculé le QI des personnalités déjà mortes ?

Question de Pascal Padeloup, internet

Grâce à une technique qui fait bondir beaucoup de chercheurs! 190 pour Leibniz, 140 pour Beethoven ou encore 160 pour Einstein et Hawking... Chacune de ces personnalités semble posséder un quotient intellectuel hors norme, mais aucune n'a pourtant passé de test. Pour évaluer leur QI, *"la seule solution a été d'analyser des écrits les concernant – biographies, correspondance – et témoignant du degré de leur développement intellectuel*, explique Jacques Grégoire, professeur à l'Université catholique de Louvain, en Belgique. *Puis une valeur d'intelligence a été établie en fonction des informations récoltées. L'idée étant que plus les réalisations d'une personne sont grandioses et son développement mental précocé, plus son QI devrait être élevé.*" Mais, selon le psychologue, les mesures ainsi obtenues n'ont aucune valeur scientifique: *"Elles se basent sur des informations souvent rapportées par des tiers et donc potentiellement embellies."* Surtout, croire que la réalisation de grandes œuvres dépend essentiellement de l'intelligence semble simpliste. *"De nombreux autres facteurs entrent en jeu: la motivation, la créativité, les opportunités qui se présentent voire les capacités financières"*, affirme Jacques Grégoire. **K.B.**

## D'où vient le bruit qu'on entend lors d'un choc entre deux objets ?

Question de Raymond Schmorak, Montrabé (31)

Des vibrations de l'un des objets. *"L'essentiel du bruit entendu quand deux objets entrent en contact correspond à la vibration mécanique de l'une ou de l'autre des surfaces*, explique Pierre-Olivier Mattei, chercheur CNRS au Laboratoire de mécanique et d'acoustique, à Marseille. *Si nous tapons délicatement sur une fenêtre avec un marteau, l'énergie*

*mécanique de l'objet qui frappe se transforme en énergie vibratoire sur la vitre. Il y a alors une fluctuation de la pression atmosphérique: les vibrations de la fenêtre font bouger l'air et donnent ainsi naissance aux ondes sonores que notre oreille perçoit."*

Certains cas sont un peu différents: quand on applaudit, par exemple, le son ne vient pas des vibra-

tions d'une des structures, *"il provient de la compression de l'air entre les paumes, qui s'échappe en provoquant, là encore, une fluctuation de la pression atmosphérique dans l'air, forte et audible. C'est pourquoi vous n'entendez rien si vous claquez très lentement des mains"*, précise le chercheur. En effet, l'air aura eu le temps de s'échapper lentement: la fluctuation sera lente et inaudible. **F.C.**

**CETTE RUBRIQUE EST LA VÔTRE, ÉCRIVEZ-NOUS !**

### SCIENCE&VIE

Pour faire vivre ces pages, nous avons besoin de votre intelligence et de votre curiosité. Vous avez une drôle de question en tête ? Nous sommes prêts à interroger les meilleurs experts scientifiques pour vous apporter ici la réponse !

Écrivez-nous à : [sev.qr@reworldmedia.com](mailto:sev.qr@reworldmedia.com)

ou bien par courrier à :  
**Science & Vie**  
**Questions/réponses**  
 40, avenue Aristide-Briand  
 CS 10024  
 92227 Bagneux Cedex

## Faut-il croire la "règle des 5 secondes" ?

Question de Natalya Schneider, Aix-en-Provence (13)

Non! Cette croyance populaire selon laquelle la nourriture tombée au sol n'est pas contaminée par des bactéries avant cinq secondes passées par terre, est totalement infondée. Une étude menée en 2003 par l'université de l'Illinois, aux États-Unis, a en effet prouvé que des aliments pouvaient être infectés par des bactéries durant ce laps de temps.

D'autres chercheurs ont montré que le délai de contamination variait selon la nourriture et le type de sol –la moquette étant moins "risquée" que le carrelage. "Quand bien même le sol est riche en micro-organismes, ces derniers ne sont pas forcément dangereux, tempère Philippe Sansonetti, microbiologiste à l'Institut Pasteur. Moins de 1 % des micro-organismes de

la biomasse terrestre sont des pathogènes humains, et les contaminations dangereuses passent surtout par les mains."

En 2017, des scientifiques britanniques ont étudié de la nourriture jetée dans divers foyers de Birmingham. Parmi les quelque 10 millions de bactéries détectées sur le sol des maisons, seules 0,0004 % ont été retrouvées sur les aliments. Et aucune n'était réellement nocive. "Il n'y a donc pas de problème particulier à

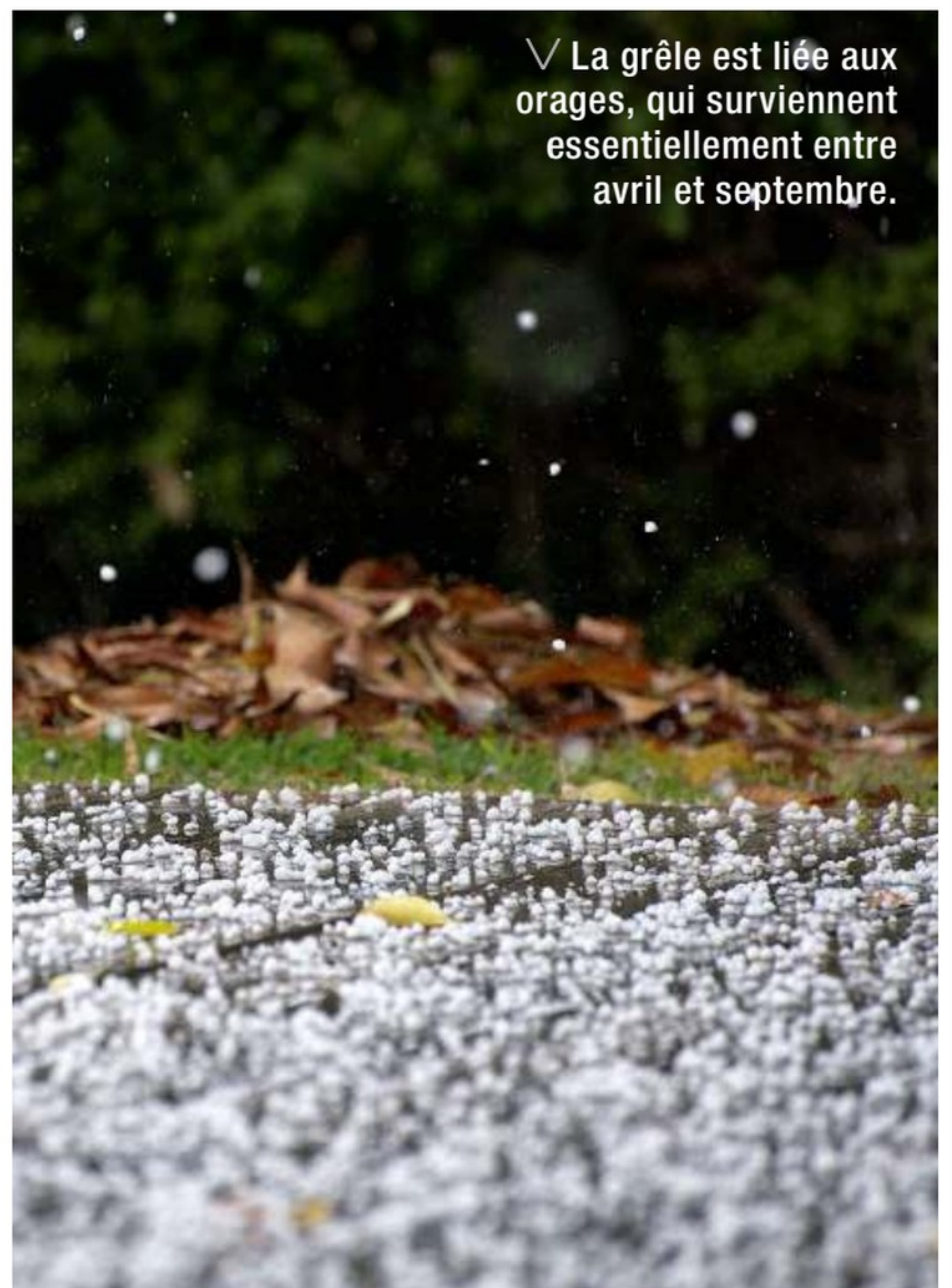
manger de la nourriture tombée par terre, sauf pour les personnes vulnérables ou si le sol est vraiment très sale, conclut Marc-André Selosse, professeur au Muséum national d'histoire naturelle. Il faut davantage faire attention aux contaminants chimiques potentiellement toxiques qui se trouvent dans un domicile." Des éléments chimiques émanant parfois... des produits d'entretien eux-mêmes! **F.C.**

## Pourquoi vit-on des épisodes de grêle en été ?

Question de Pierre Vaccaro, Saint-Étienne (42)

"Parce que les épisodes de grêle se produisent durant les orages, avance Frédéric Decker, météorologue à MeteoNews. Et que les périodes les plus orageuses ont lieu en été, plus précisément entre avril et septembre." En effet, pour qu'un épisode de grêle apparaisse, la présence d'un cumulonimbus –un nuage d'orage– est indispensable. Au sein de celui-ci, de forts courants ascendants se forment et propulsent les gouttes de pluie vers le sommet à des températures négatives: dès lors, les gouttes gèlent, puis chutent en grêlons. Or, pour que ces épisodes d'orage surviennent, de forts contrastes thermiques entre le sol et le ciel sont nécessaires. "Il faut une forte chaleur au sol, un air très froid en altitude et un taux d'humidité suffisamment élevé pour permettre la condensation de l'air humide, puis la formation d'orages", confirme Michaël Kreitz, enseignant à l'École nationale de la météorologie de Météo-France. C'est en été que les contrastes thermiques sont les plus élevés, et donc que les courants ascendants favorisant la formation de grêlons sont les plus forts.

**F.C.**



✓ La grêle est liée aux orages, qui surviennent essentiellement entre avril et septembre.

# ABONNEZ-VOUS À SCIENCE&VIE

Retrouvez chaque mois le meilleur de l'actualité scientifique

Et profitez des privilèges  
de votre abonnement



## Un accès exclusif et illimité au site web et à l'appli

- ✓ SCIENCE&VIE TV le replay et le streaming de la chaîne
- ✓ Des contenus du magazine en avant-première
- ✓ Des newsletters personnalisées
- ✓ Plus de 12 ans d'archives
- ✓ Des podcasts de nos journalistes
- ✓ Une navigation sans publicité dans une partie du site

## Des invitations personnelles

- ✓ « La Science en direct » : des visioconférences pour échanger avec le rédacteur en chef et les journalistes spécialisés sur les grandes thématiques.
- ✓ Des conférences dans des lieux privatisés
- ✓ Participation au comité scientifique dans des lieux prestigieux, salon du voyage scientifique « terra scientifica », « grand observatoire de la nature Science & Vie » avec la fête de la nature, etc.



**DÉCOUVREZ UN DES  
PRIVILÈGES ABONNÉ  
ET L'OFFRE RÉSERVÉE**

Pour en savoir plus,  
scannez le QR Code ci-contre ➔



ou sur [bit.ly/avantage-abonne](https://bit.ly/avantage-abonne)

# À vous de jouer !

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I												
II												
III			■					■				
IV											■	
V				■			■					■
VI						■				■		
VII		■										
VIII					■			■				
IX										■		
X		■		■				■				
XI						■						
XII			■									

## HORIZONTALEMENT

**I.** Science peau, dont sont sortis quelques ministres. **II.** Issues de l'arène de la reine. **III.** Cavité sous la manche, sentant ou s'entend. Réfléchit sans penser. Fournit le pot belge ou l'EPO d'ailleurs. **IV.** Ils font avancer la petite aiguille à l'heure d'été aussi. **V.** On y trouve des antiquités shintos, quand on chine tôt. Article de scientifique. Il est dans "le Nouveau Testament", pas dans "l'Ancien". **VI.** Non révolu. Palindrome qui passe au-dessus du Niçois. Marri, trompé. **VII.** Une habituée du conflit, sauf si elle est spontanée. **VIII.** Tennessee aurait pu le nommer Dés'. Le 22, mais pas qu'à Asnières. Pièce bien ficelée. **IX.** Complète pour une encyclopédie, mais critiquable pour Kant. Travail d'électron accéléré. **X.** Aux cartes, il est imbattable. C'est instable, comme méson. Animal au Sancho. **XI.** Rouge de table. Prière de ne pas rendre le dernier. **XII.** Plus de calcul. Plastiques d'interrupteurs.

## SOLUTION DE LA GRILLE S&V 1265

de David Cornélien

D	E	P	O	U	S	S	I	E	R	E	E	E
E	C	L	U	S	E	■	■	N	O	E	■	T
S	U	I	T	E	■	■	E	C	L	A	I	R
S	E	■	R	E	M	P	A	I	L	L	E	■
E	L	S	A	■	■	I	R	R	E	E	L	■
C	L	O	N	E	E	■	■	C	N	■	E	G
H	E	R	C	U	L	E	E	N	S	■	R	■
E	■	C	E	P	■	T	R	E	I	Z	E	■
M	A	I	■	N	I	E	E	■	D	E	S	■
E	L	E	V	E	E	S	■	B	E	B	E	■
N	O	R	I	E	N	■	S	E	R	R	E	■
T	I	E	N	■	A	Z	A	L	E	E	S	■

## VERTICALEMENT

**1.** Elle a bonne mine. **2.** Ouvrage en cours. French cancan ou solitaire en puissance. **3.** Facteur n'ayant que deux lettres. Scie sans danger. **4.** Mrs Robinson du *Lauréat*. Entrées en Asie. Centre du cube. **5.** Qui pique du nez, dès le réveil. Gombo du souk. **6.** Couvert en haut lieu. Chaud latin. **7.** Hercule y fut homme au foyer. La vigne en cloques d'un acarien. **8.** Ah, laize! Bande à part. Alcène en chimie. **9.** Allié pour déterminer des fréquences. Arturo. **10.** Savoir pas toujours scientifique. Elle a vu pis. Ville du Vaucluse. **11.** Sciences Po, pour qui n'est pas jugé bête comme lui. *Born(e) to be a larve*. **12.** Parti à la chasse, il entra dans les cadets. Grand monde dont vous faites partie.



Le mois prochain dans  
**SCIENCE&VIE**  
En kiosque le 22 mars

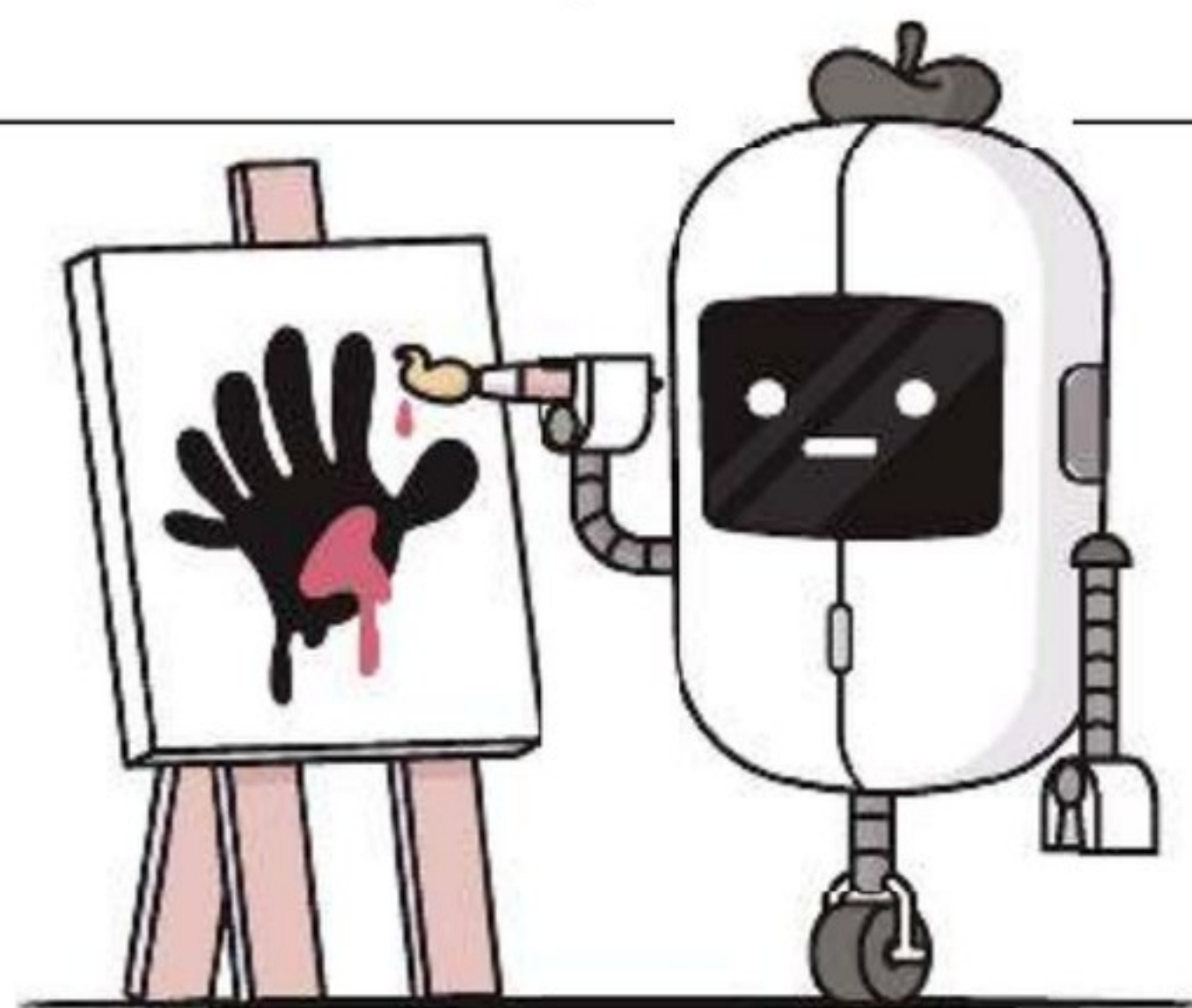
À LA UNE

**Station  
sur la Lune**  
C'est parti!

DOSSIER

**Les I.A. vont-elles  
remplacer  
les artistes ?**

Comment ChatGPT rebat les cartes



SHUTTERSTOCK

**SCIENCE&VIE**

**RÉDACTION**

40, avenue Aristide Briand,  
CS 10024 - 92227 Bagneux Cedex  
Tél. : 01 46 48 47 11  
Questions à la rédaction :  
smens@reworldmedia.com

**RÉDACTEUR EN CHEF**

Thomas Cavallé-Fol

**RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS**

Dylan Beiner-Molière,  
Thomas Delozier

**SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION**

Florence Roucolle

**DIRECTION ARTISTIQUE**

Monatelier Clandestin

**PREMIÈRE MAQUETTISTE**

Sophie Leclerc

**SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE**

Virginia Power (chef de service  
photo), Isabelle Henneron

**ASSISTANTE DE LA RÉDACTION**

Christelle Borelli

**ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO**

T. Allard, K. Bettayeb, L. Blancard,  
B. Bourgeois, F. Cadu,  
D. Cornélien, A. Dagan, A. Debroise,  
O. Donnars, E.-O. Eljaouhari,  
V. Faivre, S. Fay, P. Fricot,  
V. Genest, E. Haentjens, C. Hancock,  
T. Jones, M. Kontente, H. Leroux,  
E. LoMeo, R. Malaurent,

C. Mauger, A. Périnet, B. Rey,  
A.-L. Thadée, E. Thierry-Aymé,  
K. Toscas, M. Tumelaire

**DIRECTION-ÉDITION**

**ÉDITEUR**

Germain Périnet

**ÉDITRICE ADJOINTE**

Charlotte Mignerey

**DIRECTRICE DES RÉDACTIONS**

Karine Zagaroli

**DIRECTEUR ADJOINT DES RÉDACTIONS**

Philippe Bourbeillon

**PÔLE DIGITAL**

**RESPONSABLE:** Fatou Diallo

**PUBLICITÉ**

**DIRECTRICE EXÉCUTIVE RÉGIE**

Élodie Breaudeau-Fontailles

**CONTACTS PUBLICITÉ**

Direction commerciale :  
Nathalie Barboux (43 90)

**PLANNING**

Angélique Consoli (53 52)  
Stéphanie Guillard (53 50)

**RESPONSABLE TRAFIC**

Catherine Leblanc (43 86)

**OPÉRATIONS SPÉCIALES**

Marie-Océane Vaur (43 84)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD  
(infolodon@publieurope.com –  
44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich  
(infomunich@publieurope.com  
0049 89 2908150);  
Suisse : Publieurope Lausanne  
(infolausanne@publieurope.com  
0041 21 323 3110);  
Espagne : Publimedia Madrid  
(infomadrid@publim-gestion.es  
0034 91 212 83 00)

**MARKETING/  
INTERNATIONAL**

**RESPONSABLE:** Giliane Douls

**ABONNEMENTS  
ET DIFFUSION**

**DIRECTRICE MARKETING DIRECT**  
Catherine Grimaud

**CHEF DE PRODUIT MARKETING DIRECT**  
Karine William

**DIRECTEUR DES VENTES**

Christophe Chantrel

**RESPONSABLE VENTES MARCHÉ**

Siham Daassa

**RESPONSABLE DIFFUSION**

Jacky Cabrera

**SERVICE ABONNEMENTS  
SCIENCE & VIE**

59898 Lille Cedex 9  
01 46 48 48 96

(de 8 h à 20 h, du lundi au samedi,  
prix d'un appel local)

**Pour toute réclamation/  
modification concernant votre  
abonnement:**

[www.serviceabomag.fr](http://www.serviceabomag.fr)

**Retrouvez toutes nos offres sur :**

[www.kiosquemag.com/titres/  
science-vie/offres](http://www.kiosquemag.com/titres/science-vie/offres)

**Prix de vente:** 4,90 €

**Prix de l'abonnement:**

1 an, 12 numéros pour 58,80 €

**États-Unis et Canada: Express Mag,**

Tél. : 1 800 363-1310 (français)  
et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50  
[reworld@edigroup.ch](mailto:reworld@edigroup.ch).

Belgique : Edigroup Belgique, 070  
233 304 [reworld@edigroup.be](mailto:reworld@edigroup.be)

Autres pays : nous consulter

**FABRICATION**

**DIRECTION DES OPÉRATIONS**

**INDUSTRIELLES**

Bruno Matillat

**CHEFS DE FABRICATION**

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

**PRÉPRESSE**

Responsable de service :

Sylvain Boularand

**IMPRIMEUR**

Quad Graphic

**ÉDITEUR**

REORLD MEDIA MAGAZINES SAS  
40, avenue Aristide Briand,  
CS 10024 - 92227 Bagneux Cedex

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**

Gautier Normand

**ACTIONNAIRE**

Reworld Media France

(RCS Nanterre 477 494 371)

Tél. accueil : 01 41 33 50 00

**AFFICHAGE  
ENVIRONNEMENTAL**

Origine du papier : Allemagne

Taux de fibres recyclées : 0 %

Certification : PEFC

Impact sur l'eau :

Ptot 0,014 kg/tonne

Dépôt légal : mars 2023

Date de parution : 22/02/23

N° ISSN : 0036-8 369

N° CPPAP : 1025 K 79977



**LE TRI  
+ FACILE**



**ACPM**

D'après une question de **Sylvie Baquet (internet)**

Tu sais pourquoi on aime se faire peur ?

C'est à cause de notre curiosité morbide, selon les sciences du comportement.



Moi, je trouve ça très bizarre.

En fait, c'est tout à fait normal : ça nous pousse à nous renseigner sur les situations dangereuses et sur la façon dont nous pouvons y réagir.



Pour mieux nous préparer à faire face aux événements réels ?

Exactement ! Un film d'horreur permet d'apprendre à gérer la peur et l'anxiété, par exemple.



Certains y prennent même du plaisir...

Oui : l'amygdale réagit à une menace en quelques millisecondes, et hop ! le cortex pré-frontal montre que ce n'était qu'un film. On a un peu le sentiment d'avoir surmonté sa peur.



Donc, en fait, le plaisir provient du soulagement après l'angoisse.

Tout à fait.



Je t'avoue que je l'attends un peu impatientement, là, le soulagement...

Moi aussi. Foutue curiosité morbide !



PAR KASSIOPÉE TOSCAS ; MERCI À COLTAN SCRIVNER, CHERCHEUR EN SCIENCES DU COMPORTEMENT AU RECREATIONAL FEAR LAB DE L'UNIVERSITÉ D'AARHUS (DANEMARK) ET EXPERT EN SCIENCE DE L'HORREUR. ILLUSTRATION ALBAN PÉRINET/DÉCAPAGE

# SCIENCE & VIE

le club

Rejoignez le club **Science&Vie**



Une carte de membre NFT pour profiter d'avantages exclusifs



L'accès à une communauté de passionnés et la rédaction

sur Discord et Twitter



L'abonnement numérique offert à vie

au magazine



Des lots et invitations à des événements exclusifs

Science&Vie et partenaires

Rejoignez le club sur  
[www.nft.science-et-vie.com](http://www.nft.science-et-vie.com)  
ou en flashant ce QR code



# LA VOITURE DU FUTUR EST DÉJÀ CHEZ SPOTICAR.

Être leader français de l'occasion\*,  
c'est rendre disponibles dès aujourd'hui  
les véhicules et les services de demain.

C'est vous permettre d'avoir le choix  
entre 5 000 modèles électriques et hybrides,  
parmi plus de 50 000 occasions  
parfaitement révisées.

C'est faire le choix de rouler  
dans des véhicules fabriqués hier,  
pour penser sereinement à demain.

DES OCCASIONS PLEINES D'AVENIR

**SPOTiCAR**  
spoticar.fr

\* Réseau de véhicules d'occasion détenu par les marques du groupe Stellantis, comptabilisant le plus grand nombre de points de vente en France en 2022 selon L'argus (étude réalisée en mai 2022).

POUR LES TRAJETS COURTS, PRIVILÉGIEZ LA MARCHÉ OU LE VÉLO #SeDéplacerMoinsPolluer