

SEPTEMBRE
TOP
ventes

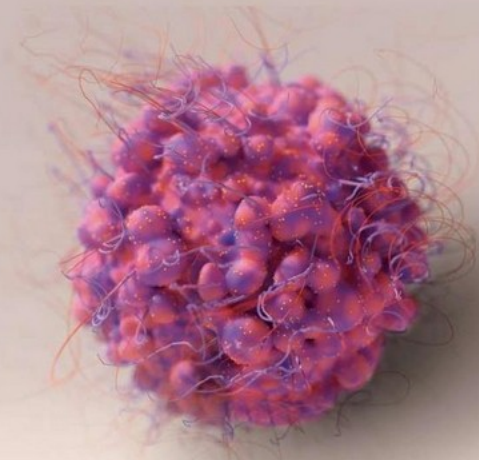
epsilon

nouveau magazine d'actualité scientifique

n°

23

mai
2023



ET SI ON AVAIT ENFIN COMPRIS LE CANCER

**HYDROGÈNE
BLANC**

L'ÉNERGIE
QUE PERSONNE
N'ATTENDAIT

PROTON

IL EST BIZARRE

**L'AFFAIRE DES
HIPPOPOTAMES
DE PABLO
ESCOBAR**

SÉCHERESSE

ÇA SE COMPLIQUE

GRATTE-CIEL

LE RETOUR
DE LA FOLIE DES
GRANDEURS

TIKTOK

**CE QU'EN DIT
LA SCIENCE**

BELUX: 6,20 € - CH: 10 CHF - IT: ESP-PORT: CONT:
6,30 € - DOM: 6,30 € - TOM: 820 XPF - TUN: 13 TND
MAR: 67 MAD - CAN: 9,90 \$CAN - D: 8,50 € - CPPAP

L 14100 - 23 - F: 5,90 € - RD





 Meta

Avec le métavers,
les pompiers seront
un jour **équipés pour
secourir les personnes
plus rapidement.**

Les pompiers utiliseront la réalité
augmentée pour mieux s'orienter
dans les bâtiments et gagner du
temps quand des vies seront en jeu.

**Même si le métavers est virtuel,
son impact sera réel.**

EN SAVOIR PLUS
[META.COM/METAVVERSEIMPACT/FR](https://meta.com/metaverseimpact/fr)

epsilon

Hors-Série #6
nouveau magazine d'actualité scientifique

ET SI NOTRE PARESSE
ÉTAIT UN SUPER-POUVOIR

LA PARTICULE
QUI A SAUVÉ LE MONDE

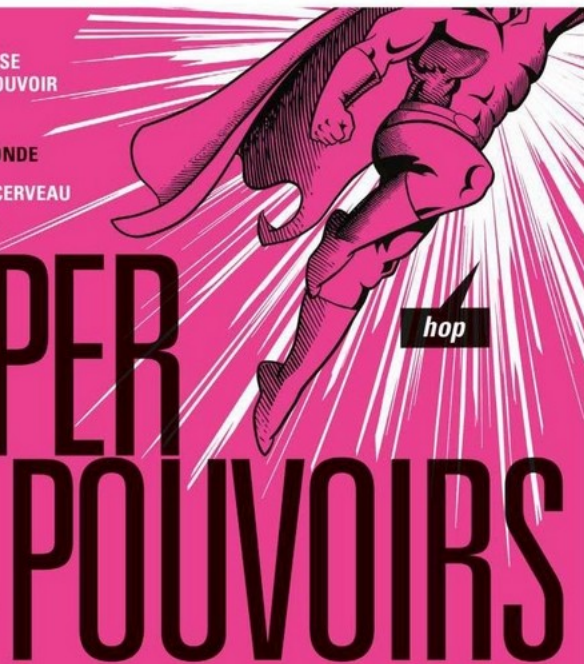
POURQUOI NOTRE CERVEAU
ADORE SUPERMAN

FACE AUX
MONSTRES
DU COSMOS

TOP 5 DES
SUPER-CONCEPTS
MATHÉMATIQUES

LE DOSSIER SURPUISSANT

SERPENT VOLANT, FLEUR MUTANTE, GRENOUILLE À GRIFFES...
RENCONTRE AVEC LES VRAIS SUPER-HÉROS



**En vente chez votre
marchand de journaux**

Édito



HERVÉ POIRIER
RÉDACTEUR EN CHEF

Cela fait plus de dix ans que nous suivons cette idée fascinante: et si le cancer était la réactivation du programme génétique de nos lointains ancêtres? Et si les tumeurs étaient le retour de la vie archaïque des premiers êtres unicellulaires?

Cela fait aussi plus de dix ans que nous suivons les avancées de quelques géologues, qui espèrent trouver dans le sol de fantastiques réserves d'hydrogène naturel, appelé « blanc »: et si c'était un nouveau pétrole, propre cette fois? Nous avons raconté à l'époque les prémices de ces histoires: les premiers pionniers de l'hydrogène blanc, un peu isolés dans leur rêve; la folle et fragile hypothèse sur le cancer, qui prenait totalement à rebours

la façon dont les biologistes et les médecins voient cette maladie.

Et nous avons vu la publication, il y a trois mois, d'une spectaculaire confirmation génétique de cette hypothèse. Et nous avons vu se lancer, un peu partout dans le monde – même en France –, des projets de forages d'hydrogène blanc... Cela donne, dans ce numéro, notre enquête sur une énergie que personne

n'attendait (p. 22), et notre dossier sur un ennemi intérieur que l'on croyait connaître (p. 40).

Epsilon n'a pas encore deux ans, mais c'est la force d'une équipe de journalistes expérimentés, qui suivent leurs dossiers depuis cinq, dix voire vingt ans. Car les belles histoires ne se terminent pas: elles rebondissent!

epsilon

LE SUIVI DES DOSSIERS

Complétez votre collection



*Vos conditions générales de vente sur epsilon.com. Offre d'abonnement valable tous mois en France métropolitaine. Proton non contractuel.

POUR CE NUMÉRO, EPSILOON A INTERROGÉ **93 scientifiques** dans le monde entier

« Il nous a très vite paru évident que pour comprendre ce qu'est le cancer, il fallait remonter à l'origine même de la vie multicellulaire »

Charles Lineweaver,
astrophysicien (Australie)
lire p. 40



« Nous sommes fascinés par les défis technologiques que posent les gratte-ciel »

Jean-Paul Viguier,
architecte (Paris)
lire p. 74

« On a lâé tous les éléments d'une invasion d'hippopotames hors de contrôle »

Germán Jiménez,
biologiste (Colombie)
lire p. 80



« Nous pensions que nous vivions dans un pays tempéré où l'eau ne pouvait pas manquer »

Éric Sauquet,
hydrologue (Villeurbanne)
lire p. 32

« Je suis absolument convaincu que l'hydrogène blanc sera la prochaine énergie majeure »

Viacheslav Zgonnik,
géochimiste (Rueil-Malmaison)
lire p. 22

« Le proton est décidément un objet très complexe »

Laurent Lellouch,
physicien des particules (Marseille)
lire p. 68

« En termes d'audience et d'engagement des utilisateurs, c'est la première fois qu'un service fait aussi peur que TikTok »

Anthony Masure,
chercheur en design (Suisse)
lire p. 54



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



SUR COLLECTION.EPSILOON.COM

ou scannez le QR code ci-dessus



Suivez-nous aussi
sur les réseaux sociaux

Club epsilon

J'ai été très surpris de voir dans votre hors-série sur les super-pouvoirs l'apparition en première référence visuelle pour le boson de Higgs du livre *Dieu, la science, les preuves*, de Bolloré [p. 38]. Contrairement aux autres livres, celui-ci ne fait mention du boson que pour nous faire croire que la science apporte la preuve de l'existence de Dieu... avec une déformation et une manipulation flagrantes de nombreux travaux scientifiques.

Romain Watteaux, Saint-Rémy-lès-Chevreuse

Nous pensions ici avoir pris suffisamment de distance avec ces livres qui confèrent au boson un pouvoir quasi-divin. Soyons donc plus clairs : nous ne conseillons pas la lecture de ce livre, si ce n'est pour entraîner sans trop de peine son sens critique...

À la lecture de votre *Contre-pied* « *Le talent n'existe pas* » [#22, p.32], je n'ai pu m'empêcher de penser à László Polgár, enseignant d'échecs connu pour avoir initié et entraîné très tôt ses filles à ce jeu afin de prouver que le génie est acquis et non inné. Son cas aurait sans doute mérité d'être mentionné.

Valentin Carreras, Crêches-sur-Saône

Dans votre dossier, vous évoquez « l'impact des jeux vidéo sur les émotions, en particulier l'agressivité » [#21, p. 44]. Le problème est que l'agressivité n'est pas une émotion, mais un sentiment. Attention, nos sociétés occidentales essaient de nous cantonner dans un rôle d'animal. Gardons notre élévation humaine due à notre pensée, et non à nos émotions.

Laurence Barrer, Toulon

Dont acte. Nous ferons plus attention.



GETTY IMAGES

Une question sur nos articles ? Une remarque ? Écrivez-nous à epsilon@uniqueheritage.fr

Dans votre dossier sur la « Génération jeux vidéo » [#21, p.40], vous dites avoir compulsé une centaine d'études scientifiques récentes pour en arriver au constat que « tout va bien ». Cependant, des parutions récentes comme *La Fabrique du crétin digital*, de Michel Desmurget, synthèse d'études scientifiques également, dit le contraire. Qu'en pensez-vous ? Pourriez-vous donner vos sources ?

Juliette Treussier, Strasbourg

Sans présager de sa pertinence, l'ouvrage de M. Desmurget ne parle pas spécifiquement des jeux vidéo, mais des écrans en général. Et les effets sur la cognition peuvent varier selon les pratiques. Sinon, comme chaque mois, les principales sources que nous utilisons pour nos articles sont consultables sur notre site.

Votre article sur la centrale solaire spatiale me pose problème [#21, p.68]. Je suis très surpris que vous ne preniez pas en compte le bilan carbone d'une telle opération. Tout cela, c'est de la vieille science. J'ai déjà lu exactement le même article il y a bien 45 ans dans *Science & Vie*. On ne peut plus faire maintenant comme si notre planète ne se réchauffait pas.

Olivier Chauvet, Saint-Domineuc

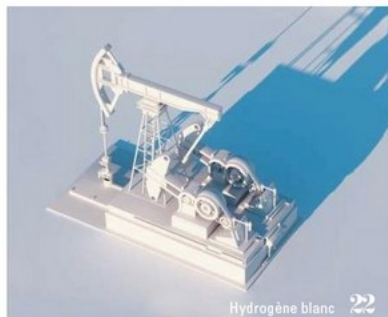
Nous voulions justement vous raconter la mobilisation de grands acteurs internationaux pour faire revivre cette vieille idée. Mais, à notre connaissance, aucun bilan carbone de sa construction n'a encore été établi. Sachant que, par principe, une fois la centrale construite, elle produira très peu de gaz à effet de serre au regard de la puissance qu'elle fournira.

Notre comité d'indépendance éditoriale est en place

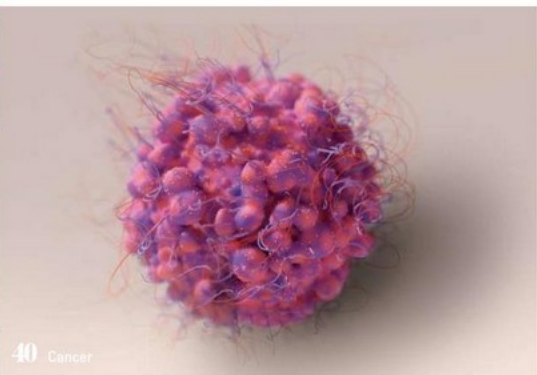
Nous étions en retard, mais ça y est. Ce comité comprend deux membres nommés par la Société des journalistes d'*Epsilon* (Muriel Valin et Pierre-Yves Bocquet), deux membres nommés par l'actionnaire (Emmanuel Mounier et Jérémie Auriat), et un membre indépendant proposé d'un commun accord, **Cédric Villani**. Le rôle de ce comité : veiller au respect de notre charte éditoriale, qui a été signée dès la naissance d'*Epsilon*, en juin 2021, par l'actionnaire et la rédaction. Elle vise à protéger la qualité et l'indépendance du magazine (ligne éditoriale, déontologie, publicité... allez la lire sur notre site !) et à informer publiquement les lecteurs d'éventuels manquements. Mathématicien récompensé en 2010 par la médaille Fields –souvent considérée comme l'équivalent en mathématiques du prix Nobel–, membre de l'Académie des sciences, citoyen engagé pour la diffusion de la culture scientifique, soutien et lecteur attentif d'*Epsilon* depuis le début, M. Villani est désormais une voix décisive dans l'équilibre de ce comité. Nous sommes honorés qu'il ait accepté de juger de notre promesse d'exemplarité.

Rectificatif

Bertrand Kahane, à Brest, nous soupçonne de ne pas être cinéphiles pour avoir écrit Adam River au lieu d'Adam Driver [#21, p.65]. Nous sommes pourtant plusieurs dans la rédaction à apprécier cet acteur américain. Ce qui rend la faute encore plus honteuse.



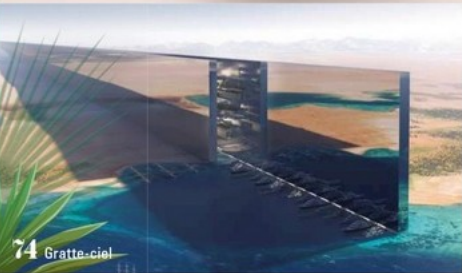
Hydrogène blanc 22



40 Cancer



Hippopotame 80



74 Gratte-ciel

epsiloon

Pour écrire à la rédaction:
epsiloon@uniqueheritage.fr

La rédaction

Yvonne Diraison, Mathilde Fontez,
Vincent Nouyrigat, Hervé Poirier
(rédaction en chef), Muriel Valin (ad-
jointe), Pierre-Yves Bocquet, Florencia
Gracia, Valéria Griffoz, Roman Hon-
coff, Alexandra Pihen, Jean-Baptiste
Vayrieras (rédaction), Anne Riera
(édition), Lés Desraynaud (infographie)

Avec : Stéphane Aubin (icône),
Hélène Colau, Bruno Levesque
(édition), Valérie Samuel (maquette),
Clémentine Laurens, Emmanuelle
Picaud (rédaction)

SERVICE CLIENT et ABONNEMENT

(+33) 01 87 64 09 62

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

Courrier: Vivetic - Epsilon -
127 rue Charles-Tillon - CS 80021
93308 Aubervilliers Cedex

Toutes nos offres: boutique.epsiloon.com
Abonnement annuel: 59 € (12 n°) ou
62 € (12 n° + 4 hors-séries)

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

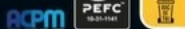
Abonnements: Nathalie Dunnas,
Vanessa Gressier (relations abonnés)

Publicité: La Compagnie Media: virginie.
hoang@lacompaniemedia.fr; 06 61 11 15 63 -
Martine Berla; 06 07 57 17 08 - Marine Weiss,
marine@vroum-rp.fr; 06 08 96 82 49

Fabrication: Créatoprint,
06 71 72 43 16

Impression: Imayo (53)
Origine du papier: Allemagne
Taux de fibres recyclées: 0%
Eutrophisation

Ptot: 0,017 kg/t
PEFC



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

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

Une publication du groupe



Crédits photos: Couverture: shutterstock; p.12-13: NASA/ESA/CSA - Shutterstock - IP3 PRESS/
MAXPPP; p.14-15: Shutterstock - NASA/NOAA - SPL/Getty Images - Nasa/JFK - D.Van
Ravenswaay/SPL; p.16-17: Enrico Bonino/Nikon Small World; p.18-19: Mathau Rivrin - Axion
Space - AFP; p.20-21: Dr. Tagide de Carvalho/Nikon Small World - Imro Potyo

SHUTTERSTOCK - NEUM - GETTY IMAGES

12
FIL D'ACTUS

16
EN IMAGES

22

L'ENQUÊTE

HYDROGÈNE BLANC

L'énergie que
personne n'attendait

30

ATLAS
Les gagnants et les perdants
de la pollution

32

ANALYSE
Sécheresse: doit-on s'habituer
à manquer d'eau ?

36

C'EST DANS L'AIR
Quand le ciel nous menace

38

BIG DATA
Un milliard de tonnes
de mammifères

40

LE DOSSIER

Et si on avait enfin compris
LE CANCER

54

TIKTOK
Dans la panique

60

DINOSAURES
Leurs momies commencent
à parler

68

PROTON
Il est vraiment bizarre

74

PROJETS
La folie des grands

80

STUPEFIANT !
L'incroyable histoire
des hippopotames
de Pablo Escobar



POP, SCIENCE

85

FUN FACTS

Étoile, poussins, homme de
Denisova, monstre du Loch Ness,
aurores boréales, Hongrois,
papillons, bulles, mégafusée...

88

CULTURE SCIENCE

Cerveau augmenté
(humanité diminuée ?),
une BD pour sortir du flux

90

PROJETS X

Des tentes qui jouent les
nénuphars; la tour qui engloutit
les poussières; le cargo qui se
plie sous les ponts...

94

INSTANT GEEK

Piano, ballon, stylo et
smartphone.

96

LIFE

Petit coin de ciel bleu, goût des
chips, croire aux fantômes, rester
humble, danser le tango...

epsiloon &
franceinfo:

S'ASSOCIENT

RETROUVEZ LE BILLET SCIENCES
CHAQUE WEEK-END.
À 7 H 21 ET 9 H 21

Le couloir secret de la pyramide de Khéops est cartographié

Étonnamment, ce corridor, le plus large connu dans l'édifice, est sans issue. Son existence, au-dessus des énigmatiques chevrons qui coiffent l'entrée nord du monument, est suspectée depuis 2017, mais ce n'est qu'aujourd'hui que deux équipes française et japonaise, en collaboration avec des chercheurs égyptiens, en ont pris toute la mesure à l'aide de détecteurs de muons ultrasensibles: 9 m de long, 2 m de large et 2 m de haut. Fascinante Khéops...

Un blé OGM approuvé par le Brésil

HB4 : c'est son nom, et celui du gène issu du tournesol qui le rend plus durand à la sécheresse. La société Bioceres, qui le développe, annonce jusqu'à +20% de rendement, par rapport aux autres blés, quand l'eau manque.

On a enregistré l'activité cérébrale d'une pieuvre

Et c'est la première fois puisque, jusqu'ici, l'animal se débarrassait facilement de l'appareil d'enregistrement. En l'insérant sous la peau, des biologistes ont réussi à suivre l'activité neuronale de trois individus pendant douze heures. D'étranges oscillations lentes ont été mesurées. Le début de la plongée dans l'un des cerveaux les plus fascinants et les plus mystérieux de la Terre...



Premier résultat sur les planètes Trappist-1

Ça y est : le télescope James-Webb a observé l'une des sept planètes de Trappist-1, ce système qui concentre les espoirs de découvrir une vie extraterrestre — il n'est pas très loin d'ici, ce sont des rocheuses comme la Terre... Verdict négatif : aucun gaz détecté autour de Trappist-1b et une chaleur torride, ce qui suggère que sa surface reçoit la lumière de son étoile sans aucun filtre. « L'interprétation la plus simple est qu'il n'y a pas ou peu d'atmosphère », concluent les chercheurs. Heureusement, il reste six Trappist-1 à étudier...

Victoire d'une IA face à un pilote de chasse

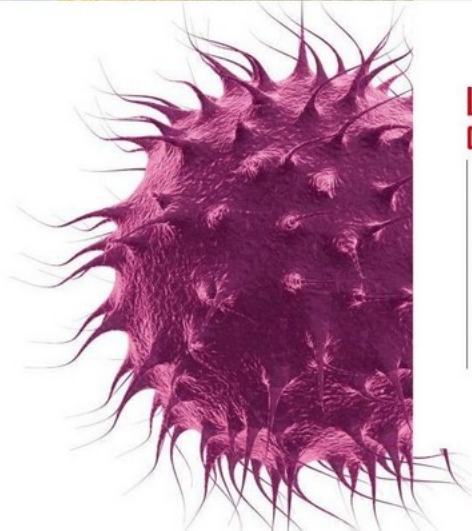
Le combat aérien rapproché n'a duré que 90 secondes, selon les militaires chinois : aux commandes d'un drone, leur IA aurait battu à plate couture un engin similaire piloté depuis le sol par un humain. Historique. Elle ne l'avait jusqu'ici remporté que durant des combats sur des simulateurs.

Les plantes crient quand elles sont stressées

Les mesures réalisées sur des plants de tomate et de tabac sont formelles : quand ils sont déshydratés ou sectionnés, les tissus de ces végétaux génèrent des petits « clics », une trentaine par heure. Des ultrasons inaudibles pour les humains, mais qui n'échappent peut-être pas à tout le monde...

Flambée de gaz destructeurs de la couche d'ozone

Ils sont en principe interdits depuis 2010. Et pourtant, les émissions de cinq gaz appartenant à la problématique famille des CFC ont plus que doublé entre 2010 et 2020. Fuites involontaires ou productions clandestines ?



Le virus de la grippe vient des poissons !

Oui, des biologistes australiens ont détecté une souche aux caractéristiques ancestrales dans l'intestin d'un esturgeon. Une vieille grippe a aussi été retrouvée récemment chez les myxines, des animaux des grandes profondeurs. Ce qui laisse penser que ce virus infectait les animaux aquatiques il y a 600 millions d'années, avant de coloniser le milieu terrestre. Une découverte éloquentes à l'heure où la grippe aviaire H5N1 se propage d'espèce en espèce, sur terre comme sous la mer.

Grosse fissure sur un réacteur de Penly

Elle s'enfonçait jusqu'à 23 mm de profondeur sur un tuyau de 27 mm d'épaisseur, dans un circuit de secours destiné à stopper le réacteur en cas d'accident. Ce qui conduit l'Autorité de sûreté nucléaire à classer l'incident niveau 2, sur une échelle de 7. Pas gravissime donc, mais inhabituel : un seul incident de ce niveau avait été recensé en 2021.

Et maintenant, GPT-4

Déjà ?! Après l'intelligence artificielle GPT-3 à l'origine du stupéfiant ChatGPT, débarque une nouvelle version encore plus puissante, créative, précise, polyvalente. Ça va vite. Si vite qu'un millier d'experts appellent dans une lettre ouverte à une pause de six mois dans le développement de ces IA.

On montait déjà à cheval il y a 5 000 ans

C'est ce que révèle l'analyse de cinq squelettes d'hommes du peuple Yamnaya, qui occupait alors l'Europe centrale. Ces tout premiers cavaliers affichent des stigmates caractéristiques de la pratique de l'équitation au niveau du bassin, des fémurs, des hanches et des vertèbres.

De la lumière a été renvoyée vers son passé

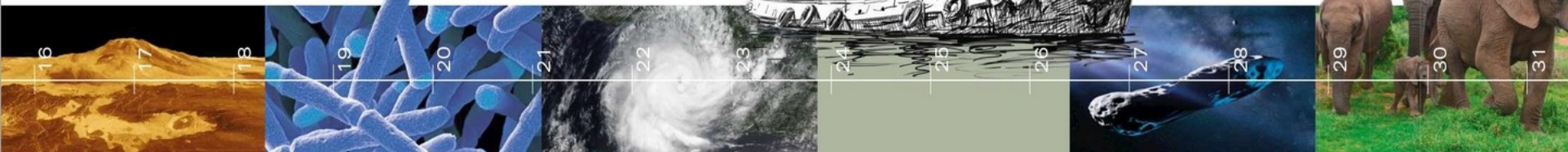
Voici un miroir d'un genre étrange : il renvoie les images en marche arrière vers le passé, tel un film visionné à l'envers. Il a été élaboré par des physiciens américains à l'échelle microscopique au sein d'un matériau artificiel capable de changer brutalement son indice de réflexion de la lumière. Ce phénomène de « retournement temporel » est prédit de longue date par les théoriciens, mais le voir en vrai n'en est pas moins impressionnant.

Enfin un traité de protection de la haute mer

Les discussions duraient depuis 2004, c'est dire si ce premier cadre juridique visant à protéger la biodiversité marine était attendu. L'enjeu est en effet de taille : les 193 États membres de l'ONU s'engagent à considérer 30 % des eaux internationales, qui représentent elles-mêmes les deux tiers des océans, comme des zones protégées. Ce qui inclut l'ensemble de la biodiversité marine jusqu'à la surface, alors que la convention préexistante n'encadrait que l'exploitation des ressources du plancher (minerais, réserves fossiles...). Une sacrée avancée.

La mission Dart est un succès

Oui, il est possible de dévier un astéroïde. « Nous avons démontré qu'on est capable de produire un impact sur un objet de 150 m de diamètre que la caméra ne commence à voir qu'une heure avant le choc », résume Patrick Michel, un des membres de la mission.



C'est prouvé : les volcans sont bien actifs sur Vénus

Nul doute que la planète a connu un intense volcanisme — sa surface est couverte de volcans. Mais sont-ils encore en activité? Vénus est-elle toujours vivante? Il aura fallu épécher scrupuleusement les images radar prises par la sonde Magellan entre 1990 et 1992 pour le savoir. C'est en scrutant l'Alta Regio que Robert Herrick et son équipe de l'université Fairbanks, en Alaska, ont pu répondre. Ils ont trouvé près de l'un des plus grands volcans de la planète une coulée de magma bien visible, dont la taille double entre deux images prises à huit mois d'intervalle. Deux missions spatiales devraient partir vers 2030 pour y regarder de plus près.

L'enzyme qui convertit l'air en électricité

Baptisée Huc, elle se situe sur la membrane des bactéries *Mycobacterium smegmatis*, auxquelles elle permet de respirer le dihydrogène de l'air. La cryomicroscopie électronique a permis de comprendre comment elle prend deux électrons à la molécule H₂ et stocke leur énergie électrique dans une vitamine. De quoi intéresser la filière hydrogène.

Freddy est le plus puissant cyclone de l'histoire

Apparu le 7 février au nord-ouest de l'Australie, il a persisté durant près de 40 jours en parcourant plus de 10 000 km au-dessus de l'océan Indien — un record. Ce monstre a notamment semé la désolation à Madagascar, au Mozambique et en Zambie, faisant plus de 1 000 victimes.

Des souriceaux naissent de deux souris mâles

C'est la proueuse d'une équipe japonaise qui a reprogrammé les cellules de la queue d'un mâle adulte pour en tirer des ovocytes avec deux chromosomes X, comme ceux des femelles. Fécondés, ils ont généré 630 embryons et 7 souriceaux vivants et fertiles.

Finalement, 'Oumuamua n'est pas un vaisseau extraterrestre

L'hypothèse avait été évoquée lorsque ce mystérieux objet, qui a traversé notre Système solaire en 2017, s'est mis à accélérer à proximité du Soleil. De nouvelles analyses offrent une explication plus raisonnable. Les particules cosmiques qui ont frappé cette comète lors de son long voyage interstellaire ont pénétré sous la glace, en cassant ses molécules d'eau. L'hydrogène y est resté piégé, jusqu'à ce que la chaleur solaire le libère, provoquant son accélération. L'étude de ces aliens ne fait que commencer, loin des délires de SF.

Une nouvelle source de cellules sanguines

Une équipe australienne l'a découvert par hasard : les vaisseaux lymphatiques peuvent produire des globules rouges et blancs dans certaines phases du développement de l'organisme, ou lors de maladies comme les cancers. Il suffit d'éteindre un gène pour déclencher la fabrication de sang.

Les éléphants aussi se sont domestiqués

Des biologistes se sont aperçus que ces animaux sauvages ont connu des évolutions physiques, génétiques et comportementales similaires à celles des animaux domestiqués. Comme chez les loups devenus toujours, les individus dociles ont été favorisés.

Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/sources

Luxe de détails

Saisi dans un morceau d'ambre ! Cet insecte a été stoppé dans sa course il y a entre 16 et 20 millions d'années. « Il mesure à peine plus d'un millimètre de long. Pour obtenir tous ces détails sur la tête, les yeux et les ailes, la tâche a été très compliquée », décrit Enrico Bonino, un photographe pourtant spécialisé en macro-extrême. Pour atténuer le flou, les rayures, la diffraction de la lumière et obtenir cette image incroyablement nette, il a dû recourir à des techniques spécifiques, comme plonger l'échantillon dans de la glycérine végétale dont l'indice de réfraction est proche de celui de l'ambre. **M.V.**

0,1 MILLIMÈTRE





Lueurs célestes

« Ça a duré à peine deux minutes, témoigne le photographe Mathieu Rivrin. Un léger voile rouge est passé d'est en ouest derrière le Mont-Saint-Michel. » Une aurore boréale ! Un spectacle rare en Normandie : contraintes par le magnétisme terrestre, les lueurs créées par le vent solaire restent habituellement concentrées autour des pôles. Il a fallu une éruption solaire particulièrement puissante pour que l'événement puisse être observé à une aussi basse latitude, le 27 février dernier. **C.L.**

Pharaonesque

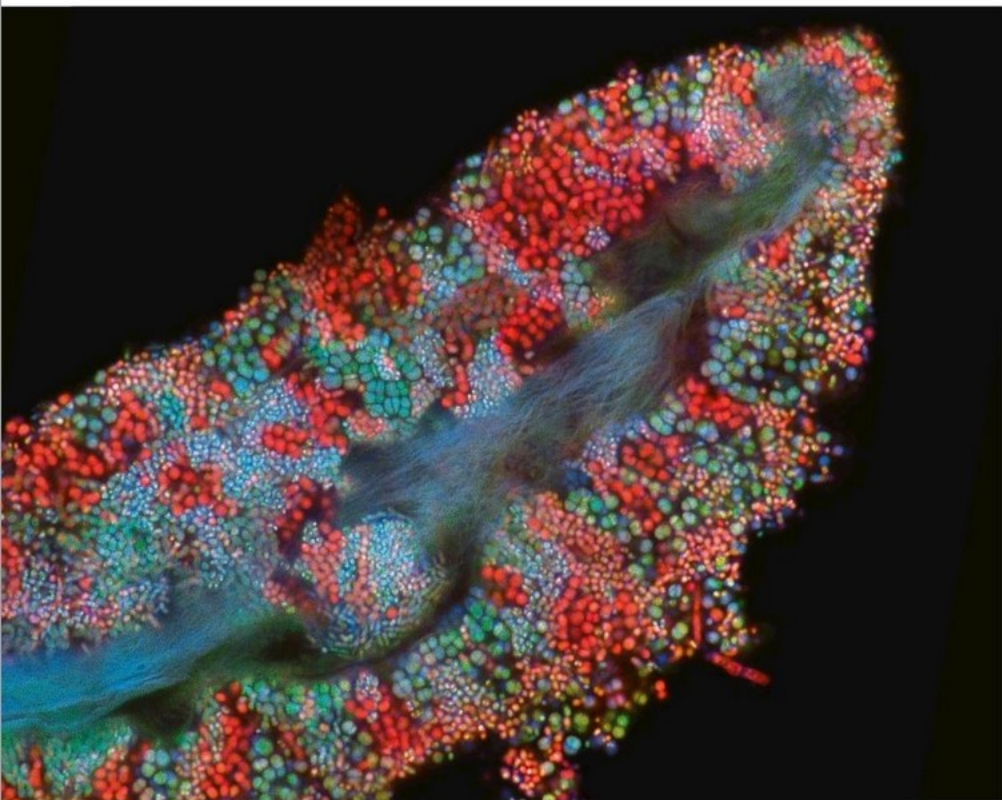
2000 béliers momifiés... Une équipe de l'université de New York a découvert à Abydos, derrière les murs du temple de Ramsès II, une collection de têtes incroyablement bien conservées. Ces restes, sans doute des offrandes datant de l'époque ptolémaïque, entre 300 et 30 av. J.-C., révèlent la persistance du culte encore voué au pharaon mille ans après sa mort. **M.V.**



La combi

Elle a été présentée en grande pompe en mars dernier par la société Axiom Space : voici la combinaison que porteront sur la Lune les astronautes de la mission Artemis. Caméra haute définition sur le casque, articulations très mobiles, elle peut être enfilée sans aide, contrairement aux combinaisons actuelles. Mais cela reste un prototype, dont aucune spécification technique n'a encore filtré. Sauf que les délais sont serrés : le décollage est prévu en 2025. **M.F.**

En images



— 2 MICROMÈTRES

Sur le bout de la langue

« La ligne bleue au centre est une cellule épithéliale de ma langue, les petites boules qui l'entourent sont les différents types de bactéries qui forment la communauté microbienne de ma bouche », décrit Tagide Decarvalho, biologiste à l'université du Maryland. La chercheuse a analysé la structure de son propre organe par microscopie à fluorescence. Objectif : comprendre le fonctionnement du microbiote buccal – le deuxième plus grand et plus varié, après celui de l'intestin – et développer de futurs médicaments ciblés. **M.V.**



— 0,5 CENTIMÈTRE

Secret sous-bois

C'est à la tombée du jour qu'Imre Potyó a capté ces délicates volutes. Des millions de spores exhalées par une vessie-de-loup. « Depuis huit ans que je photographie les spores, c'est la première fois que j'observe une forme hélicoïdale aussi parfaite ! » L'environnementaliste hongrois a légèrement tapoté le champignon pour provoquer cet envol. Mais normalement, ce sont les gouttes de pluie qui le déclenchent en compressant et craquelant sa surface. Autant de promesses de futurs champignons. **V.G.**

Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/sources

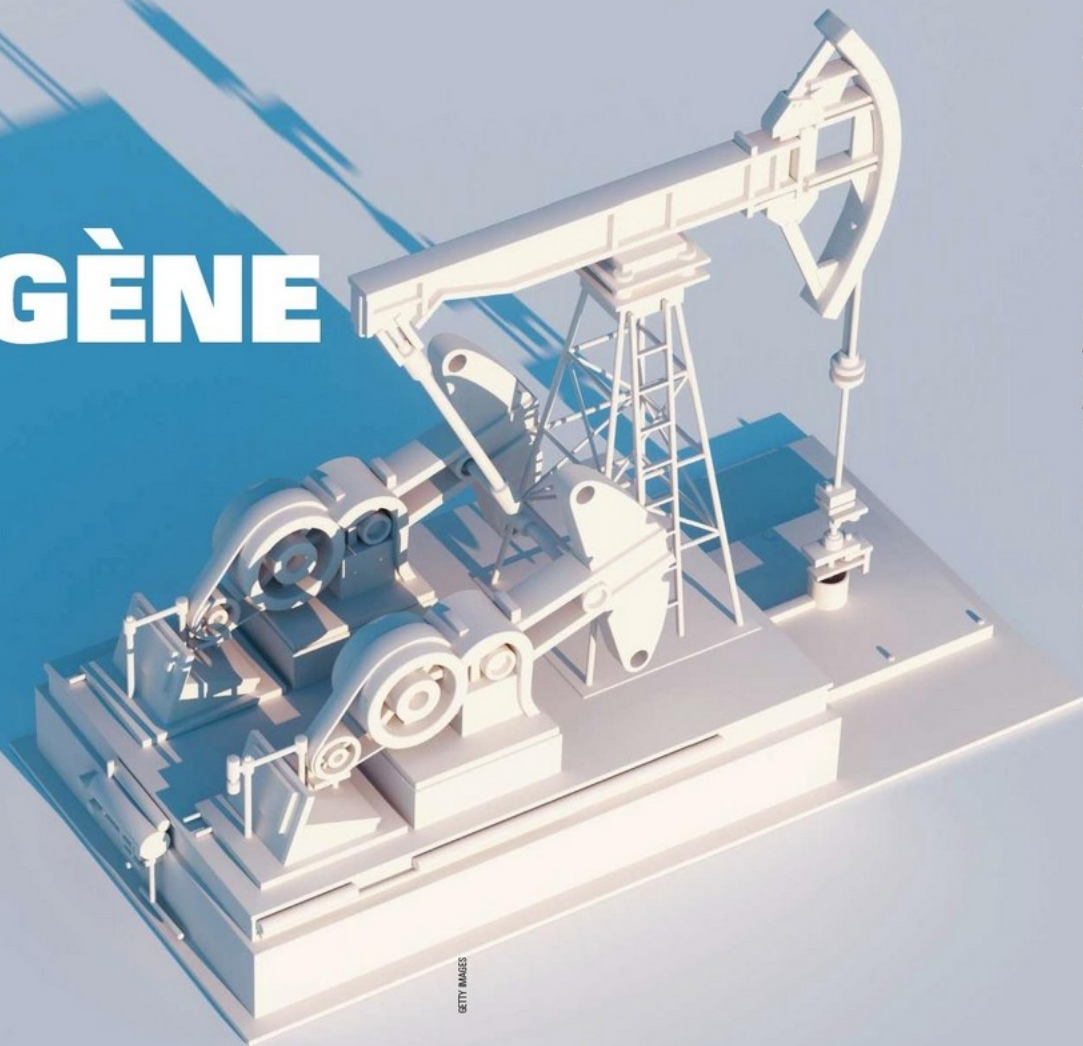
L'enquête

HYDROGÈNE BLANC

L'énergie que
personne n'attendait

Les perspectives de gisements affolent depuis quelques mois scientifiques et industriels. Ce gaz, que l'on fabrique aujourd'hui industriellement au prix d'une forte pollution, serait en fait naturellement présent sous terre dans des quantités considérables. Au point que certains n'hésitent plus à parler d'un nouveau pétrole...

PAR VINCENT NOUYRIGAT



GETTY IMAGES

« Nous en sommes actuellement au même point que les pionniers de l'or noir au XIX^e siècle attirés par les suintements de pétrole en surface »

Éric Gaucher, géochimiste à l'université de Berne

« En fait, on en trouve dans presque tous les pays, c'est extrêmement commun »

Alain Prinzhofer, directeur scientifique de la compagnie GEO4U

« Je suis absolument convaincu que ce sera la prochaine source d'énergie majeure »

Viacheslav Zgonnik, géochimiste, directeur de la start-up Natural Hydrogen Energy

DES PERSPECTIVES DE GISEMENTS PARTOUT DANS LE MONDE

En ce moment, c'est de la folie !», confie Isabelle Moretti, géologue à l'université de Pau. Ce n'est peut-être qu'un mirage. Une lubie de scientifiques et d'entrepreneurs qui risquent leurs économies personnelles, et éventuellement le ridicule. Mais il n'est pas impossible non plus que ces pionniers remportent, un jour, la gloire et les dollars. Car la frénésie qui agite en ce moment les prospecteurs d'hydrogène naturel – appelé aussi hydrogène « blanc » – pourrait bien changer notre avenir énergétique.

Imaginez qu'à la place du pétrole ou du méthane, se mettent à jaillir du sous-sol d'immenses flots d'hydrogène. Autrement dit, un gaz dont la puissante combustion n'émet que de l'eau et qui

électrolyse de l'eau. Et si l'hydrogène était en réalité une ressource naturelle, un trésor géologique jusqu'ici passé inaperçu ? Et si nous étions sur le point de découvrir un nouveau pétrole ? « Il est tout à fait raisonnable de se poser la question », lance Laurent Truche, chercheur à l'Institut des sciences de la Terre, à Grenoble.

DÉNI GÉOLOGIQUE

Il y a encore quelques années, ce gaz était considéré comme une simple curiosité géologique ; on savait qu'il alimentait les petites flammes millénaires du mont Chimère en Turquie, ou des Los Fuegos Eternos aux Philippines. Quelques fuites ici ou là faisaient l'objet de travaux de géochimie pointus,

et parfois posaient des problèmes de sécurité dans certaines mines profondes. Si des foreurs à la recherche de pétrole, de méthane ou d'eau en ont forcément rencontré, c'est toujours de manière

fortuite et souvent sans s'en rendre compte. « L'industrie pétrolière ne s'y intéressait pas et les chromatographes utilisés pour l'analyse des hydrocarbures ne le mesuraient pas », signale Geoffrey Ellis, géochimiste pétrolier à l'Institut d'études géologiques des États-Unis. « Il y a eu ce paradigme très fort que l'hydrogène libre n'existait pas en quantité sur Terre, et cela a

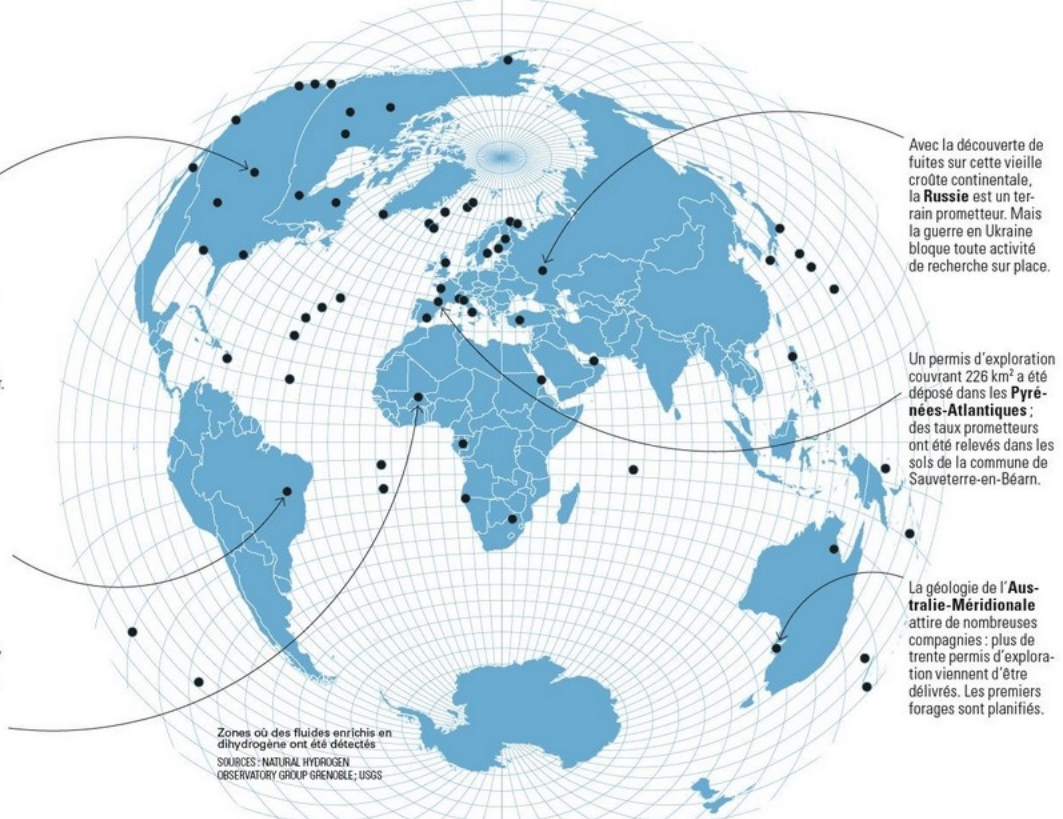
profondément marqué notre façon de penser », exprime Laurent Truche. Une sorte de déni géologique. « Nous, on criait dans le désert, beaucoup d'experts ne voulaient pas se poser la question... De toute façon, il n'y avait pas besoin de ce gaz », souffle Isabelle Moretti. Maintenant, il devient désirable et les découvertes se multiplient. »

Il suffisait d'y prêter un peu attention : armés d'un nouvel état d'esprit et de capteurs conçus pour l'occasion, les géologues découvrent en surface la présence d'hydrogène dans les contextes les plus variés. « En fait, on en trouve

Aux États-Unis, un premier forage a été réalisé dans le Nebraska. De l'hydrogène aurait été détecté. Des résultats plus précis sont attendus dans les semaines à venir.

Le bassin brésilien de Sao Francisco attire en ce moment l'attention des géologues en raison de fuites d'hydrogène intrigantes. Un grand rush se prépare ici.

Le gisement d'H₂ de Bourakébougou, au Mali, est actuellement unique au monde. La compagnie qui l'exploite prospecte aussi dans le reste du pays et du continent.



Avec la découverte de fuites sur cette vieille croûte continentale, la Russie est un terrain prometteur. Mais la guerre en Ukraine bloque toute activité de recherche sur place.

Un permis d'exploration couvrant 226 km² a été déposé dans les Pyrénées-Atlantiques ; des taux prometteurs ont été relevés dans les sols de la commune de Sauveterre-en-Béarn.

La géologie de l'Australie-Méridionale attire de nombreuses compagnies : plus de trente permis d'exploration viennent d'être délivrés. Les premiers forages sont planifiés.

Zones où des fluides enrichis en dihydrogène ont été détectés
SOURCES : NATURAL HYDROGEN OBSERVATORY GROUP GRENOBLE ; USGS

partout, presque tous les pays, c'est extrêmement commun », s'enthousiasme le géochimiste Alain Prinzhofer, l'un des pionniers du sujet. À Oman, en Espagne, aux États-Unis, en Nouvelle-Zélande, en Australie, en Chine, au Japon, en Finlande, en Ukraine, au fin fond de l'Atlantique ou en Nouvelle-Calédonie... En France métropolitaine aussi : une campagne de mesures effectuées dans les Pyrénées-Atlantiques a révélé des taux prometteurs. Ce gaz semble parfois laisser des traces visibles : « Des chercheurs russes nous avaient signalé des fuites d'H₂ au niveau de petites zones

circulaires dépourvues de végétation, baptisées "verdes de fées", se souvient Alain Prinzhofer. Cela nous paraissait aberrant, et pourtant... »

LE MALI REBAT LES CARTES

Les mêmes étranges structures apparaissent au Brésil, au sein du bassin de Sao Francisco : « Nous y avons déployé une batterie de capteurs et mesuré des débits de centaines de mètres cubes par jour », signale Olivier Lhote, du groupe Engie. « Pendant le confinement, j'en ai repéré sur Google Earth en Namibie et nous avons pu ensuite mesurer sur

place des flux d'hydrogène », raconte de son côté Isabelle Moretti. Qui indique avoir par ailleurs « détecté récemment des teneurs intéressantes dans les donnes de puits de géothermie en Islande ».

Les chercheurs tentent actuellement d'identifier les sources de ces emanations. Plusieurs mécanismes sont évoqués. L'hydrogène peut être généré par la radiolyse des eaux souterraines : c'est-à-dire que les éléments radioactifs contenus naturellement dans certaines roches, comme l'uranium ou le thorium, sont capables de briser par leurs rayonnements la molécule H₂O. →

Jusqu'ici on criait dans le désert, mais aujourd'hui les découvertes se multiplient

Isabelle Moretti, géologue à l'université de Pau

L'enquête

libérant ainsi du H₂. Autre voie de production identifiée: l'oxydation du fer au contact de l'eau à des températures de plus de 200°C; mais d'autres réactions chimiques sont aussi envisagées, éventuellement à basse température. Autant de contextes géologiques de « roches ultramafiques » et de « cratons précambriens » qui nous éloignent des bassins sédimentaires tant explorés pour les hydrocarbures.

« Nous en sommes actuellement au même point que les pionniers de l'or noir au XIX^e siècle attirés par les suintements de pétrole en surface... avant que le fameux colonel Edwin Drake creuse son premier puits en 1859 à Titusville, en Pennsylvanie, déclenchant le premier rush pétrolier, évoque Éric Gaucher, géochimiste à l'université de Berne. Pour l'hydrogène, ce premier puits révélateur, ce point de bascule, se situe au Mali. » « Les flux d'hydrogène mesurés au niveau du sol sont trop diffus et faibles pour être exploités comme une ressource, mais effectivement, la découverte de ce gisement malien rebat les cartes », appuie Geoffrey Ellis.

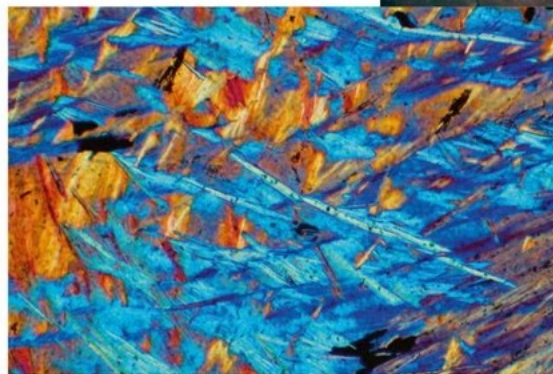
GRAND RUSH

L'espoir vibrant de tous les prospecteurs d'H₂ repose donc sous le village de Bourakebougou, à 50 km au nord de Bamako. Une révélation qui doit beaucoup au hasard: en 1987, le creusement d'un puits d'environ 100 m de profondeur échoue à trouver de l'eau potable; un technicien allume une cigarette au bord du trou et tout explose; le puits abandonné est ensuite repris en 2011 par la compagnie Petroma, dont les ingénieurs constatent qu'il crache de l'hydrogène quasi pur. D'autres forages ont depuis confirmé la présence d'une large poche de gaz. « Nous avons estimé des volumes exploitables dans un rapport confidentiel, je peux juste dire qu'il y a ici au moins 60 milliards de mètres

TROIS TYPES D'INDICES GÉOLOGIQUES SONT TRAUQUÉS

LES FORMATIONS DE FER RUBANÉ

Ces zones sédimentaires saturées de minerai ont déjà été largement exploitées par les compagnies minières au Brésil, en Australie, en Afrique du Sud. Certains géologues pensent que les infiltrations d'eau pourraient produire ici de l'hydrogène à basse température, l'oxydation du fer permettant de dissocier les molécules d'H₂O.



LES ZONES DE PIÉMONT

Gorgé de fer ferreux (Fe²⁺) susceptible de produire de l'hydrogène, le manteau terrestre remonte vers la surface à certains endroits des continents. C'est notamment le cas dans les zones de piémont, comme les Pyrénées-Atlantiques ou les Alpes italiennes. Les prospecteurs les étudient maintenant avec attention.



MICROSCOPIE OPT. - SUZANNE DING / ALAMY STOCK PHOTO - THOMAS BRESSLER / PERSPECTIVO

LES CERCLES DE FÉES

Ils apparaissent dans les parties très anciennes des croûtes continentales au Brésil, en Russie, en Afrique, en Australie. Les géologues ont détecté au niveau de ces affaissements circulaires dépourvus de végétation, sources de beaucoup de fantômes et de légendes, des émanations d'hydrogène. Reste à savoir si des gisements se cachent dessous.



cubes », révèle Denis Brière, vice-président de la compagnie canadienne Chapman Petroleum Engineering. Il y aurait donc des accumulations d'hydrogène dans la croûte terrestre, comme il y a des gisements de pétrole ou de gaz naturel. « Les flux qui nous parviennent en surface ne servent en quelque sorte que la partie émergée de l'iceberg, et cela laisse espérer de grands volumes en profondeur », imagine Éric Gaucher. « Il n'y a pas de raison de penser que la découverte malienne relève d'une singularité géologique sans équivalent dans le monde », tranche Geoffrey Ellis. Même s'il faut rester très prudents, avertit Laurent Truche: « L'analyse des gaz en surface ne permet pas de définir l'origine de l'hydrogène, qui pourrait être aussi issu simplement de processus de fermentations bactériennes dans le sol. »

Pour en avoir le cœur net, il va falloir explorer le sous-sol. Les pionniers des débuts sont en train de céder la place à de petites compagnies

de prospection capables de dépenser des millions de dollars pour forer un puits – susceptible de faire chou blanc. Tous se précipitent vers les roches les plus propices, les cercles de fées; certains épiluchent les rapports d'anciens forages à la recherche d'indices prometteurs. Les géologues tablent aussi sur la présence

Les flux qui nous parviennent en surface laissent espérer de grands volumes en profondeur

Éric Gaucher, géochimiste à l'université de Berne

de couches imperméables de sel ou d'argile, qui pourraient jouer le rôle de piège pour les très petites molécules de dihydrogène – au Mali, elles se sont accumulées dans un mille-feuille de dolérite, une roche magmatique très dense. Le grand rush de l'hydrogène peut maintenant commencer, avec son lot d'informations confidentielles, de spéculations et de promesses tonitruantes.

« Je ne peux pas vous dire comment nous avons sélectionné notre site, mais nous avons effectué un forage dans le Nebraska de 3,4 km de profondeur, qui a montré la présence d'hydrogène en profondeur... », signale Viacheslav Zgonnik, directeur de la start-up Natural Hydrogen Energy. En Australie, c'est la ruée: une trentaine de permis d'exploration ont déjà été attribués ces derniers mois dans l'État d'Australie-Méridionale. En France, l'hydrogène natif a été inscrit en avril 2022 dans la liste des ressources du code minier. Et une demande de permis de recherches a été déposée l'été dernier par la société TBH2 Aquitaine en Béarn et Soule. « Cette zone des Pyrénées est un système potentiellement fertile, il y a de vrais arguments: le manteau terrestre riche en fer remonte ici jusqu'à 8 km » →

L'enquête

de profondeur, des failles majeures permettent des apports en eau et la migration de l'hydrogène, tandis qu'il y a des roches qui pourraient faire office de couverture pour former des accumulations», lâche Laurent Truche. « Nous venons de déposer avec un grand groupe une demande de permis quelque part en France, affirme de son côté Nicolas Pélissier, un ancien de Total qui a fondé le start-up 45-8 Energy. Nous avons déjà un permis dans le Jura, qui pourrait associer hélium et hydrogène, ce qui semble être la marque de la radiolyse de l'eau. En fait, on regarde un peu partout dans le monde, au Kosovo, en Afrique, en Amérique du Sud... »

« Nous discutons avec les autorités brésiliennes dans l'optique de réaliser

FRAGILE, ABRASIVE, RENOUELABLE... CETTE RESSOURCE RESTE À APPRIVOISER

Le dihydrogène s'annonce très différent des hydrocarbures exploités depuis plus d'un siècle. Cette molécule est d'abord très fragile : H₂ se transforme rapidement au contact de nombreux minéraux, et elle est abondamment consommée par les bactéries du sous-sol. Très petite et légère, elle s'échappe vite des cuves ; très réactive, elle s'attaque aux aciers. Mais elle a aussi un atout singulier : alimentés en flux continus par les roches, les gisements d'H₂ pourraient être constamment renouvelés. Une ressource renouvelable !

Forage au Nebraska



La transition peut se produire en une décennie. C'est une très bonne nouvelle pour la planète...

Viacheslav Zgonnik, directeur de la start-up Natural Hydrogen Energy

des premiers forages à proximité des cercles de fées, indique à son tour Olivier Lhote, d'Engie. Nous regardons aussi dans d'autres pays, mais je ne peux pas vous en dire plus pour ne pas donner trop d'indications à la concurrence.» Emballés, les experts promettent même des coûts d'extraction inférieurs à 1 euro le kilo, contre 2 à 6 euros avec les procédés de fabrication actuels.

Si de plus en plus d'ingénieurs pétroliers y voient une possibilité de reconversion, la quête de l'hydrogène nécessite de sérieux ajustements. H₂

est une molécule bien plus petite, mobile et réactive que le méthane, en plus d'être très appétissante pour les bactéries du sous-sol. « Ce gaz n'aura pas forcément les mêmes circuits de migration que le gaz naturel et il nous faut encore comprendre les conditions favorables à l'établissement et la préservation de gisements d'hydrogène », estime Olivier Lhote. À vrai dire, la nature de ces hypothétiques gisements reste mystérieuse : s'agit-il d'accumulations liées à une ancienne activité géologique, ou de réservoirs sans cesse alimentés par de nouvelles réactions chimiques – ce qui en ferait une ressource renouvelable ? « Il est encore trop tôt pour le dire, admet Denis Brière, l'un des rares à avoir pu étudier de près le site du Mali. Notre théorie actuelle sur le renouvellement de l'hydrogène reste spéculative. » Tout est à découvrir et à réinventer. « À l'Institut américain d'études géologiques, nous sommes en train d'adapter nos modèles pétroliers pour l'hydrogène », explique Geoffrey

Ellis. « Moi, je travaille sur une méthode qui permettra d'évaluer les volumes d'hydrogène disponibles dans une formation géologique », informe Éric Gaucher.

PROMETTRE LA LUNE

L'enthousiasme général est indéniable. Les premiers congrès sur l'hydrogène naturel font le plein. Comme aux premières heures du gaz de schiste, les majors se gardent de prendre trop de risques. « Néanmoins, je peux vous dire qu'en coulisses, toutes les grandes compagnies pétrolières se montrent très intéressées », chuchote Alain Prinzhofner. Mais peut-on réellement croire à la découverte imminente d'une nouvelle ressource géologique d'ampleur mondiale ? « Il ne faut pas avoir peur que la réponse soit négative », pose Laurent Truche. « Pour ma part, je pense que le potentiel est très grand : mes calculs, effectués sur un coin de table, montrent que la récupération des seules émanations du sous-sol brésilien pourrait satisfaire la demande

mondiale », s'enflamme Alain Prinzhofner. « Notre estimation préliminaire, qui tient compte de toutes les pertes et des faibles taux de récupération, aboutit à des chiffres importants correspondant à plusieurs centaines d'années de consommation potentielle », avance Geoffrey Ellis ; même si cela reste théorique, voire un peu vaseux, le modèle de l'Institut d'études géologiques estime avec 98% de probabilité que la production géologique pourrait satisfaire au moins 50% de la consommation d'H₂

d'ici à 2100 et au-delà. « Il y a vraiment trop d'incertitudes, je trouve qu'il y a beaucoup de rêves, d'intérêts privés, plusieurs de mes confrères vendent la Lune, je suis choqué par certaines annonces », tance Fabrice Brunet, minéralogiste à l'université Grenoble Alpes.

ALLER AU BOUT

Mais l'heure n'est pas vraiment à la tiédeur... « J'ai choisi de quitter le confort d'un poste salarié bien payé chez Total pour prendre ce risque, je suis persuadé

que la Terre produit d'énormes quantités d'hydrogène, témoigne Éric Gaucher. On doit aller au bout de cette aventure, forer au moins vingt puits aux bons endroits pour se faire une idée. S'il y a vingt échecs, alors d'accord, on aura peut-être tué l'idée. » Viacheslav Zgonnik remet une pièce dans la machine : « Je suis absolument convaincu que ce sera la prochaine source d'énergie majeure. L'hydrogène naturel permet de faire pivoter rapidement l'industrie fossile vers une nouvelle ressource, cette transition peut se produire en une décennie. C'est une très bonne nouvelle pour la planète. »

Évidemment, nous ne sommes pas obligés de le croire ; il y a tellement d'obstacles à franchir, tellement de raisons de douter. Mais avouez que vous êtes maintenant aussi impatients que nous de connaître le dénouement de cette incroyable quête...

Un grand rush sur l'hélium aussi

Certains chasseurs d'hydrogène comptent bien trouver au passage des gisements d'hélium ; des études récentes suggèrent que les deux éléments s'accumulent parfois ensemble. Il faut dire qu'une pénurie touche en ce moment ce gaz noble, très recherché par les fabricants de semi-conducteurs et de fibres optiques. L'hélium, qui est aujourd'hui extrait de gisements de méthane, affronte depuis quelques années des problèmes en série dans les principales installations russes, américaines, algériennes et australiennes. Sachant qu'il est très difficile à stocker – un contenant se vide en 40 jours. « Les prix ont été multipliés par six, beaucoup de start-up se sont lancées dans la prospection », témoigne Nicolas Pelissier de 45-8 Energy, qui vise des gisements dans la Nièvre et le Jura.

NATURAL HYDROGEN ENERGY/UC

Retrouvez nos sources sur [episilon.com/sources](https://www.episilon.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par Epsilon.

Les gagnants et les perdants de la pollution

Fumées et gaz d'échappement, cendres, poussières naturelles... Alors que les États-Unis et l'Europe voient la concentration en particules fines baisser, elle augmente largement en Asie. À l'échelle mondiale, le niveau est stable depuis vingt ans, mais reste très au-dessus du seuil fixé par l'Organisation mondiale de la santé.

PAR LÉA DESRAYAUD
SOURCE : WENHUA YU ET AL, THE LANCET, MARS 2023

99,99%

de la population mondiale et 99,82 % des terres sont exposées à un niveau annuel de pollution dépassant le seuil fixé par l'OMS (5 µg/m³).

0

Dès la plus petite concentration, on voit des effets néfastes : diminution de la fonction pulmonaire, asthme, troubles cardiovasculaires, cancers, etc.

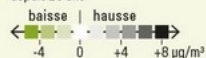
32,3 µg/m³

C'est la concentration annuelle moyenne dans le monde en 2019. Un chiffre stable depuis au moins vingt ans.

7 jours sur 10

La majeure partie de l'année, la concentration journalière dépasse le seuil d'exposition maximale de 15 µg/m³ fixé par l'OMS.

Pollution aux particules fines PM_{2,5}, variation de la concentration annuelle depuis 20 ans



La pollution diminue nettement aux **États-Unis**, au point que l'Agence de protection de l'environnement a proposé en janvier d'abaisser le seuil annuel toléré.

Les politiques restrictives ont fait leur effet en **Europe**. Revers de la médaille : le réchauffement climatique accélère depuis que les particules fines ne jouent plus leur effet parasol.

La **Chine** reste le pays le plus pollué au monde, malgré une baisse ces dernières années. En cause, le chauffage au bois et l'utilisation encore massive d'énergies fossiles, avec un pic les mois d'hiver.

Les incendies qui se multiplient ces dernières années en **Sibérie** ont considérablement dégradé la qualité de l'air.

Les réchauffements stratosphériques soudains favorisés par le changement climatique repoussent sable et poussières du Sahara vers le Maghreb ; diminuant ainsi la pollution au-dessus de l'**Afrique subsaharienne**.

Au **Bésil**, les politiques de protection de la forêt amazonienne mises en œuvre dès 2008 ont permis d'améliorer la situation... Reste à connaître les effets de la déforestation accélérée avec l'arrivée de Jair Bolsonaro en 2019.

La situation continue de se dégrader en **Inde**, au **Pakistan**, au **Bangladesh**. Portées par les vents, leurs particules de suies remontent même les pentes himalayennes, accélérant la fonte des glaciers.

SÉCHERESSE

Doit-on s'habituer à manquer d'eau ?

Sécheresse prolongée, nappes en déficit, conflit autour des mégabassines... Alors qu'on pensait que l'eau ne serait jamais un problème dans notre pays tempéré, la perspective d'en manquer s'impose aujourd'hui à tous: citoyens, agriculteurs, industriels... L'urgence? Nous adapter, répondent les experts.

PAR ALEXANDRA PIHEN - ILLUSTRATIONS RÉALISÉES PAR ITZIAR BARRIOS

Une année 2022 plus chaude que jamais, un hiver exceptionnellement sec... «*Et 18 mois de sécheresse*, poursuit la climatologue et hydrologue Agnès Ducharme, à Sorbonne Université. *Nous faisons face à un événement compliqué.*» Sans compter que février n'a pas apporté les pluies attendues: les précipitations ont été déficitaires de plus de 50% sur la majeure partie du pays, et de plus de 90% par endroits. «*En Occitanie, nous avons eu 40% de précipitations en moins de décembre à février, c'est considérable*», illustre Eric Servat, hydrologue et directeur du Centre international Unesco sur l'eau de l'université de Montpellier. Bilan: des nappes dont les niveaux restent sous les normales à 80% et dont

la moitié tendent encore à diminuer mi-mars; des sols asséchés sur la totalité du territoire; sept départements déjà soumis à des restrictions d'eau –contre zéro en 2022 et un en 2021 à la même date. «*Jusqu'ici, nous pensions que nous vivions dans un pays tempéré où l'eau ne pouvait pas manquer; mais nous comprenons que nous avons été naïfs et que nous sommes très vulnérables*», résume Eric Sauquet, hydrologue à l'Inrae.

NOUVELLE TRAJECTOIRE

«*Il y a déjà eu des sécheresses pluriannuelles, mais elles sont exacerbées par le changement climatique et la surface de notre territoire concernée augmente au cours des dernières décennies*», cadre

Françoise Vimeux, climatologue à l'IRD. Le changement climatique engendre une modification spatiale et temporelle des pluies. À l'échelle du Globe, les précipitations augmentent dans les zones pluvieuses et diminuent dans les plus sèches. En France, janvier est dans cette tendance, avec une quantité de pluies globales conforme à la normale, mais une répartition très hétérogène: proches des normales ou excédentaires de 10 à



80% à de nombreux endroits, mais déficitaires de 25 à 90% dans le Sud-Est.

Et pour les années à venir, les modèles prévoient un déficit des précipitations en été. Sans compter que la hausse des températures aggrave la sécheresse en favorisant les phénomènes d'évaporation. «*Il y aura des années plus humides que d'autres, mais d'une certaine manière, notre climat devient aride*, résume Agnès Ducharme. *Dans*

le sud de la France, c'est certain.» Ainsi, même si Météo-France ne dessine aujourd'hui aucune tendance nette en matière de pluviométrie pour les mois à venir, l'installation de la sécheresse ne fait aucun doute pour les spécialistes. «*Un des risques est de croire qu'un printemps pluvieux nous sauvera, mais c'est oublier que nous sommes sur un manque structurel*», alerte Émilie Comby, géographe à l'université de Lyon. Car même si la pluie se met à tomber, elle profitera d'abord à la végétation renaissante, «*et non à la recharge des nappes ou des cours d'eau*», affirme Agnès Ducharme. Ce qui engendrera une situation encore plus problématique cet été et à l'automne prochain...

«*On ne fait que gérer des crises*, déplore Françoise Vimeux. *Sauf que le changement climatique n'est pas une crise, mais une nouvelle trajectoire.*» Le principal levier d'action sur la pluie est donc de réduire notre impact sur le réchauffement, ce que martèle encore le Giec dans son dernier rapport. Cette sécheresse sera d'autant plus marquée que la température moyenne de la planète sera élevée. «*4°C de réchauffement en France engendrerait un déficit de pluie moyen d'environ 20% sur le pourtour méditerranéen*», illustre la climatologue. Or, le Haut Conseil pour le climat le rappelait dans son rapport de juin, nous sommes aussi très en retard sur

Une année record en France

25%

C'est le déficit pluviométrique moyen en 2022, au deuxième rang des années les moins pluvieuses depuis 1959.

80%

des nappes sont sous la normale.

32

C'est le nombre de jours consécutifs sans pluie, entre le 21 janvier et le 20 février. Un record depuis le début des enregistrements.

Analyse

l'adaptation, gestion de l'eau comprise. «L'adaptation consiste à développer toutes les solutions qui vont permettre d'utiliser moins d'eau en prélèvements et en consommation», souligne Agnès Ducharme. En 2019, le pacte des Assises de l'eau annonçait un objectif de réduction des prélèvements de 10% en 2025, et de 25% en 2030 – un objectif revu à la baisse dans le Plan eau présenté fin mars avec 10% d'ici à 2030. «Eau potable, agriculture, industrie, énergie, loisirs... tous les secteurs sont concernés», ajoute Éric Servat.

LE CAS DU MAÏS

Et c'est l'agriculture la plus gourmande: elle consomme près de 80% de l'eau qu'elle prélève dans les rivières, les lacs et les nappes – contre 3% pour l'énergie et 20% pour l'eau potable. La surface agricole utile irriguée a augmenté de 14% en dix ans pour atteindre 7,3% en 2020: les céréales surtout, devant les oléagineux, les vignes, les prairies qui font un bond. «7,3%, c'est sûrement beaucoup pour certains, mais au regard des pays méditerranéens ce n'est rien», soulève Stéphane Ghiotti, géographe au CNRS à l'université Paul-Valéry Montpellier 3. Reste qu'on peut quand même se poser la question de savoir si ça vaut le coup de faire pousser du maïs, qui a surtout besoin d'eau en été, à grand renfort d'intrants sur du sable. Dans les Bouches-du-Rhône, la moitié des vignobles sont irrigués. Sans oublier que de nombreux



Un des risques est de croire qu'un printemps pluvieux nous sauvera

Émeline Comby,
géographe à l'université de Lyon

améliorée... «Des mesures de gestion intégrée des cultures, des sols et de l'eau peuvent réduire la dégradation des sols et accroître la résilience des systèmes de production agricoles aux impacts du changement climatique», indiquait le Giec en 2019. «L'agriculture doit en effet réduire son empreinte sur la ressource en eau», estime Éric Servat. C'est indispensable, mais ça ne se fera pas en six mois: il faut l'accompagner.»

Car s'il existe une multitude de solutions locales, elles ne semblent pas à la hauteur du problème. Chacune a ses limites. Pomper l'hiver dans les nappes ou les rivières pour constituer des stocks? L'efficacité de ce dispositif – dont les mégabassines, objets de violents affrontements, sont l'archétype – dépend

agriculteurs, en contrat avec des industriels, ne peuvent se permettre une baisse de qualité ou de rendement. Diversification des cultures, espèces végétales moins consommatrices d'eau, réduction du travail du sol, conservation de l'humidité, agroforesterie, irrigation



de l'écosystème, de la dynamique de la nappe, des conditions météo... «Ce n'est jamais la solution à appliquer partout, mais ce n'est pas à bannir partout non plus», estime Éric Servat. «Les pays qui ont tout mis sur les retenues se retrouvent dans des situations de sécheresses longues et les conséquences sont graves pour les agriculteurs et les écosystèmes», balaie de son côté l'hydrogéologue Florence Habets.

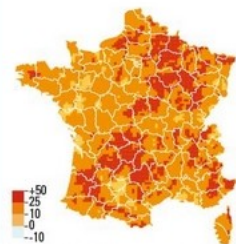
INCOHÉRENCES GLOBALES

La solution viendra-t-elle d'ailleurs? Du recyclage de l'eau dans l'industrie? De l'utilisation des eaux pluviales pour nettoyer les voiries ou arroser les espaces publics? De la réutilisation des eaux post-assainissement? Seul 1% de nos eaux usées est actuellement réutilisé, quand les Italiens sont à 10%, Singapour à 40, Israël à 90. «Sur le pourtour méditerranéen, c'est une solution intéressante», réagit Éric Servat. Au lieu de repartir directement à la mer, l'eau qui sort de la station d'épuration peut être utile dans des périodes sèches pour soutenir le débit d'un cours d'eau et la biodiversité. Mais Émeline Comby prévient: «Un des risques à trop

LEA CÉRAYAUD

Les sécheresses vont devenir plus fréquentes et plus sévères

Les modèles de réchauffement prévoient une modification de la répartition des précipitations, et une accentuation de l'évaporation.



ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE SOL SEC (en 2050 par rapport à aujourd'hui)

SOURCES: MÉTÉO FRANCE ; COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE, SERVICE DES DONNÉES ET ÉTUDES STATISTIQUES ; NATIONAL INFRASTRUCTURE COMMISSION

techniciser ce cycle est de ne pas rendre l'eau au milieu: quelle quantité d'eau laisse-t-on aux poissons, aux écosystèmes? Le Bureau de recherches géologiques et minières travaille aussi sur la recharge artificielle des nappes

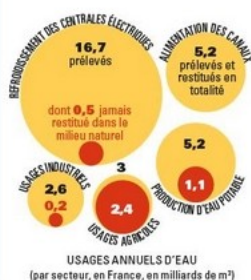
Pour nos sociétés développées, l'eau semblait inépuisable. Ce regard doit changer collectivement

Éric Servat, directeur du Centre international Unesco sur l'eau de l'université de Montpellier

via des réinjections d'eau traitée – ce qui questionne sur leur pollution résiduelle – ou des bassins perméables de retenue d'eau de pluie. Autre piste: traquer les fuites. Un litre d'eau potable sur cinq ne parvient toujours pas à l'utilisateur.

Les deux plus gros usages sont l'agriculture et l'eau potable

En France, sur les 32,8 milliards de m³ d'eau douce prélevés chaque année, 4,1 milliards ne retournent pas au milieu naturel après utilisation.



La modernisation des réseaux fait ainsi partie de la boîte à outils annoncée par le gouvernement dans son Plan eau.

Mais pour tous les spécialistes, la solution immédiate n'existe pas. L'essentiel passera par des économies et un partage intelligent et concerté de la ressource. Même si des initiatives sont prises au niveau régional, tout l'enjeu consiste en une prise en compte nationale du problème. Le rapport de la Cour des comptes de mars 2023 dénonce d'ailleurs une gouvernance complexe de la gestion de l'eau, où chaque ministère, chaque collectivité locale tend à préserver ses intérêts, créant des incohérences globales. «Des niveaux de restrictions émergent au

Aucune solution ne pourra suffire toute seule

Les gouvernements tablent sur une multiplication de mesures visant à l'optimisation des usages et des infrastructures.



PISTES POUR AUGMENTER LA QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE D'ICI À 2025 (au Royaume-Uni, en millions de litres par jour)

niveau départemental par décision des préfets, ce qui peut conduire à des aberrations entre départements. Le processus hydrologique de sécheresse est parfois complètement occulté par d'autres intérêts locaux, touristiques, agricoles, énergétiques...», déplore Éric Sauquet.

Le point clé étant la valeur accordée à l'eau, dans un pays qui, jusque-là, considérait cette ressource comme abondante. «Pour nos sociétés développées, l'eau semblait inépuisable. Ce regard doit changer collectivement», affirme Éric Servat. La prise de conscience commence doucement: dans son Plan eau, le gouvernement a annoncé une tarification progressive en fonction des quantités prélevées afin d'inciter à la sobriété.

Retrouvez nos sources sur [epsilon.com/sources](https://www.epslon.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par Epsilon.

C'est dans l'air

L'HISTOIRE SE RÉPÈTE



Quand le ciel nous menace

Le 26 février 2023
2023 DW atteint 0,25 %
de probabilité d'impact

Les télescopes du désert d'Atacama, au Chili, calculent la trajectoire d'un petit astéroïde de 50 m de diamètre : 2023 DW a une chance sur 600, puis sur 400 de frapper la Terre le 14 février 2046. « Restons calmes, les prédictions vont s'affiner et sans doute abaisser ce risque, réagit le spécialiste Patrick Michel. Mais cela montre l'intérêt de notre travail de suivi » Le 14 mars, tout risque est écarté.

Le 8 janvier 2011
Un géocroiseur menaçait de
détruire une région entière

Un petit point bleu s'allume sur les écrans de l'observatoire du mont Lemmon : l'orbite d'un géocroiseur de 140 m pourrait croiser la Terre en 2040. Vu sa taille, il provoquerait une explosion équivalente à deux bombes nucléaires. Tous les télescopes se mobilisent pour affiner la trajectoire, dont le puissant Gemini à Hawaï, qui finit par écarter tout risque : 2011 AG5 ratera la Terre de 900000 km.

Le 23 février 2006
Un astéroïde se hissait
au niveau de risque 2

687 observations au télescope sur plus d'un an rendent un verdict inquiétant : l'astéroïde 2004 VD17 a presque une chance sur 1000 de frapper la Terre le 4 mai 2102, et atteint le niveau 2 sur l'échelle de Turin qui mesure le risque d'impact. C'est le deuxième objet céleste à entrer dans cette catégorie « méritant l'attention des astronomes ». Le suivi s'intensifie, et éteint toute crainte en octobre.

Le 19 juin 2004
Apophis révélait les lacunes
du système de veille

L'astéroïde fait 325 m et la probabilité de collision avec la Terre est de 2 %, découvrent trois astronomes à l'observatoire national de Kitt Peak, dans l'Arizona. « On s'est demandé qui prévenir... *Chirac ? Bush ?* » se souvient Patrick Michel. L'apocalypse est prévue en 2029, puis en 2036... avant d'être écartée. Mais cet astéroïde, Apophis, participe à structurer la surveillance des géocroiseurs. M.F.

MICHEL GANDRUP - SHUTTERSTOCK

POLÉMIQUE

Faut-il mettre les enfants au coin ?

Mettre à l'écart un enfant le temps qu'il se calme : tous les parents ont essayé cette technique au moins une fois, que ce soit sur une chaise, au coin ou dans sa chambre. Or on ne compte plus, ces derniers temps, les tribunes de psychologues s'exprimant pour ou contre cette pratique — structurante pour les premiers, délétère pour les seconds. Du côté de la science, en fait, il n'y a pas débat. Voilà un demi-siècle que l'isolation temporaire est étudiée, que des centaines d'essais randomisés ont évalué, décortiqué, soupesés ses effets dans de multiples contextes et à l'aune de toutes les théories du développement de l'enfant. Conclusions : à partir de deux ans, en tant que procédure de discipline positive, « il y a des preuves écrasantes étayant son efficacité et son acceptabilité », résumait en 2019 le spécialiste australien Mark Dadds. Mieux : cette coupure de l'attention parentale contribuerait non seulement à remédier aux problèmes de comportement, mais aussi à ceux d'attachement parent-enfant. Elle favoriserait par ailleurs la régulation des émotions.

Mais pour qu'elle soit bénéfique et efficace, encore faut-il intégrer la mise à l'écart dans une éducation positive ; en partager en amont les règles avec l'enfant ; l'appliquer seulement pour les comportements qu'il est capable de modifier, et non comme une punition ; ne l'interrompre que lorsque l'enfant est parvenu à se calmer. Et, bien sûr, rester soi-même calme tout du long. F.G.



À PART ÇA



Les jeunes fument et boivent moins

Depuis 2017, le nombre de jeunes de 17 ans usagers de drogues en France est en nette baisse. 15,6% consomment régulièrement du tabac, 7,2% de l'alcool et 3,8% du cannabis. Seule exception, la cigarette électronique, dont l'usage quotidien a triplé (6,2%).



La chute des émissions de gaz à effet de serre se confirme en France

En 2022, elles ont diminué de 2,5% par rapport à 2021 (6,2% par rapport à 2019). Principalement grâce à la sobriété liée à la hausse des prix du gaz. La consommation d'énergies fossiles a surtout baissé dans le secteur résidentiel et tertiaire.



Une nouvelle espèce d'orchidée découverte

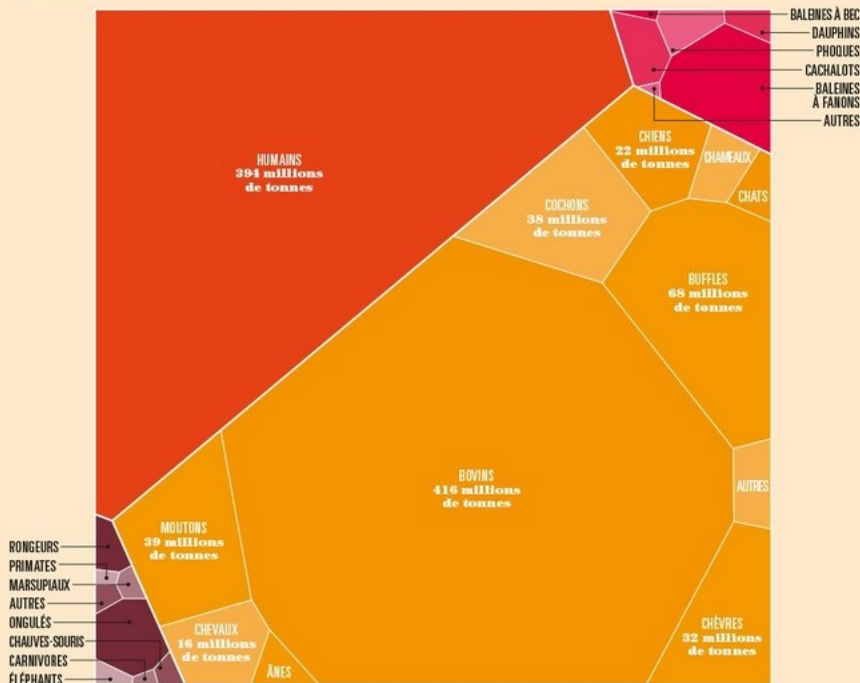
Présente depuis longtemps dans les parcs japonais, *Spiranthes hachijensis* ressemblait tellement à ses cousines qu'elle était passée inaperçue. Dix ans d'études et une analyse génomique plus tard, la voix reconnue comme une espèce à part entière.



Il y a au moins 76 ours bruns dans les Pyrénées

Dont 13 ours. C'est 2 de plus que lors du comptage de 2021, selon le dernier rapport de l'Office français de la biodiversité. En parallèle, le nombre d'attaques sur le cheptel domestique est, lui, resté quasi stable : 331 contre 333.

Big data



L'ensemble des **MAMMIFÈRES SAUVAGES TERRESTRES** a une biomasse égale à celle de tous les **CHIENS**.

Trois espèces d'**ÉLÉPHANTS** concentrent une biomasse équivalente à celle de 1 200 espèces de **CHAUVES-SOURIS**.

La biomasse du **BÉTAIL** est 1,6 fois plus importante que celle des **HUMAINS** et 10 fois plus que celle des **MAMMIFÈRES SAUVAGES**.

Un milliard de tonnes de mammifères

PAR LÉA DESRAYAUD
SOURCE : L. GREENSPOON
ET AL. PNAS, JANV. 2023

Biomasse mondiale des mammifères, en millions de tonnes

- humains
- bétail et domestiques
- sauvages terrestres
- sauvages marins



D'où viennent ces données

Pour réaliser ce recensement global de la biomasse des mammifères, une équipe israélienne s'est fondée sur des données d'abondance de certains de mammifères et a construit un modèle afin d'estimer la biomasse des espèces dont le nombre d'individus est inconnu.

2 MOIS OFFERTS

epsiloon
nouveau magazine d'actualité scientifique

Abonnez-vous

Le mensuel + le hors-série



OU

Le mensuel



82€ / AN
Sans engagement*
LA VERSION NUMÉRIQUE EST OFFERTE

59€ / AN
Sans engagement*
LA VERSION NUMÉRIQUE EST OFFERTE



SUR EPSILOON.COM

ou scannez le QR code ci-dessus



par téléphone

01 87 64 09 62

Du lundi au vendredi de 9 h à 19 h



ET SI ON AVAIT ENFIN COMPRIS

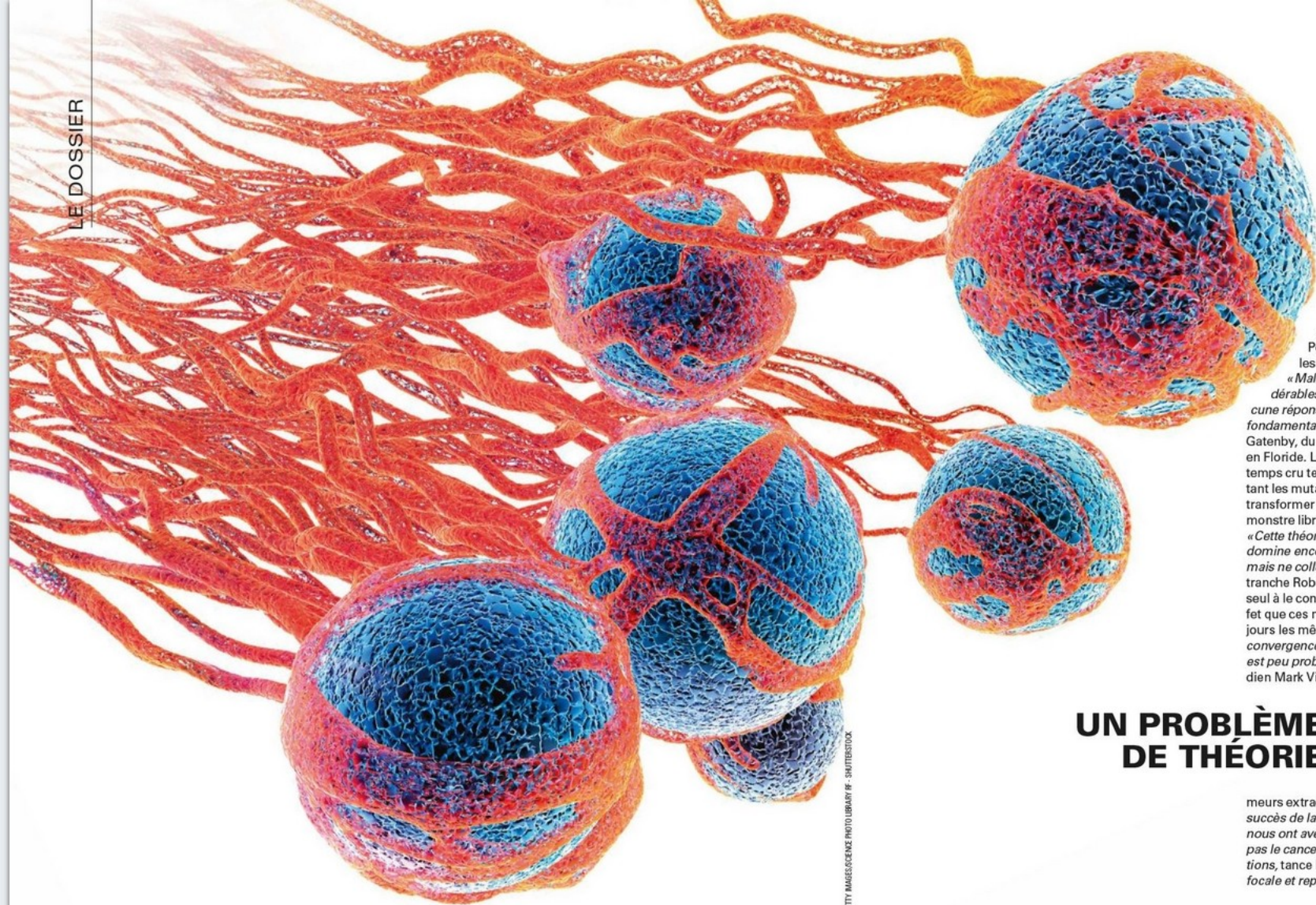
LE CANCER

JANNAEAL

Et si les biologistes et les médecins avaient fait fausse route ? Deux physiciens dynamitent l'hypothèse des mutations aléatoires en proposant, arguments génétiques à l'appui, une théorie radicale: le cancer serait la réactivation d'une vie archaïque, celle de notre passé unicellulaire. L'espoir de comprendre, enfin, cette maladie... pour mieux la combattre.

PAR JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS

42
UN PROBLÈME DE THÉORIE**44**
LE RÉVEIL DE NOS ANCÊTRES**47**
LES ARGUMENTS
DE LA GÉNÉTIQUE**50**
L'ESPOIR DE NOUVELLES
THÉRAPIES**52**
«LE CANCER CRÉE
UNE NOUVELLE FORME DE VIE»

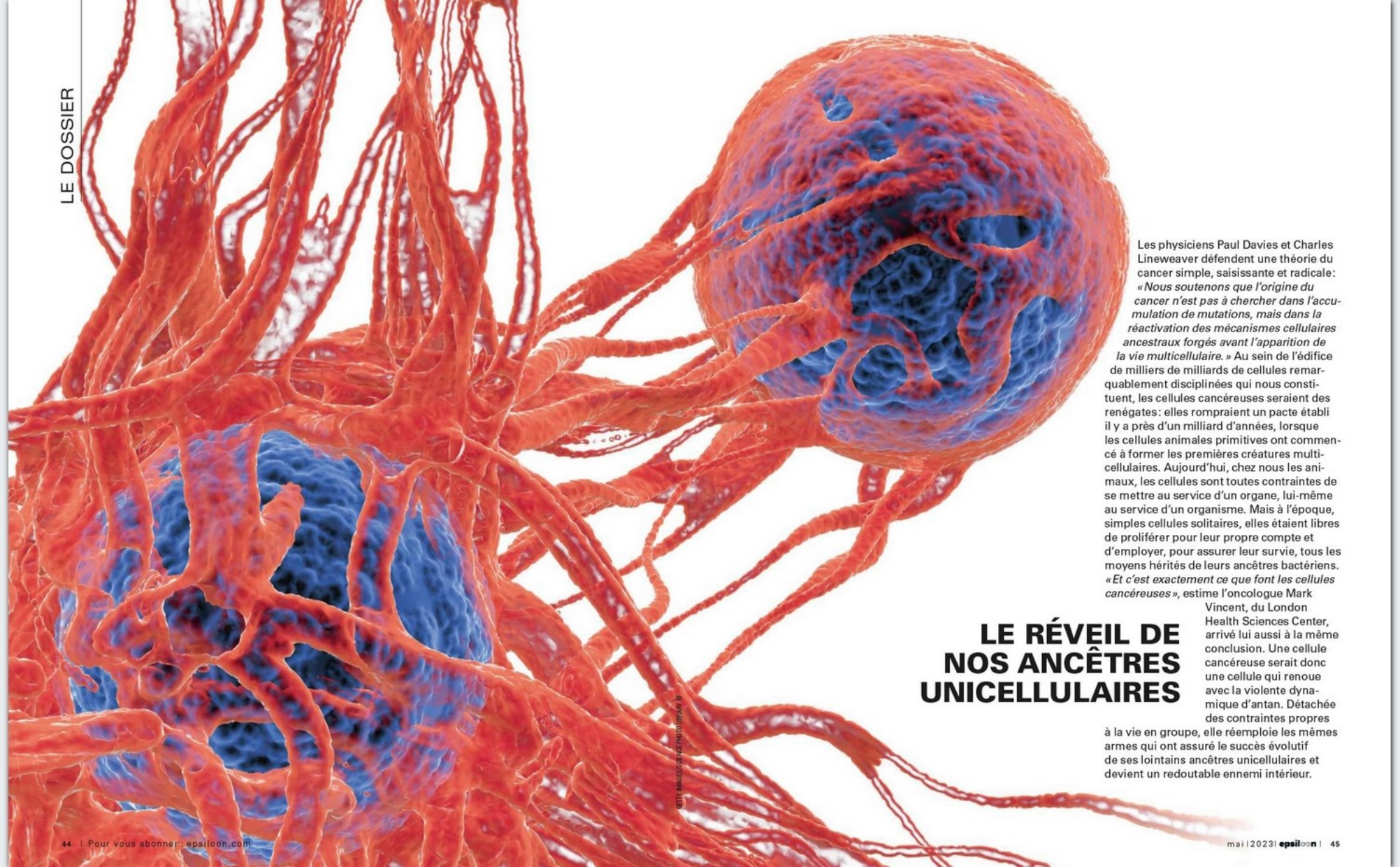


GETTY IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY RF - SHUTTERSTOCK

Comment naît une tumeur ? Qu'est-ce qui provoque l'apparition de cellules cancéreuses au sein d'organes aussi différents que le cerveau, la peau ou les os ? Pourquoi ce fléau affecte-t-il tous les animaux, et même les plantes ? « Malgré des efforts de recherche considérables depuis des décennies, il n'y a aucune réponse satisfaisante à ces questions fondamentales », déplore l'oncologue Robert Gatenby, du Moffitt Cancer Center à Tampa, en Floride. Les biologistes du cancer ont longtemps cru tenir le fin mot de l'histoire en pointant les mutations génétiques capables de transformer une cellule en un redoutable monstre libre de proliférer sans retenue. « Cette théorie dite des mutations somatiques domine encore très largement la recherche, mais ne colle pas avec les observations », tranche Robert Gatenby. Et il est loin d'être le seul à le constater. Comment expliquer en effet que ces mutations aléatoires forment toujours les mêmes formes de cancer ? « Une telle convergence sous l'effet des seules mutations est peu probable », admet l'oncologue canadien Mark Vincent, du London Health Sciences Center. Comment expliquer également que de telles cellules mutantes puissent faire machine arrière, comme dans le cas des régressions spontanées de neuroblastomes, ces tumeurs extracrâniennes chez l'enfant ? « Les succès de la génétique et de la génomique nous ont aveuglés : nous ne comprendrons pas le cancer en restant le nez collé aux mutations », tance Robert Gatenby. Il faut changer de focale et reprendre de la hauteur. »

UN PROBLÈME DE THÉORIE

« Les succès de la génétique et de la génomique nous ont aveuglés : nous ne comprendrons pas le cancer en restant le nez collé aux mutations », tance Robert Gatenby. Il faut changer de focale et reprendre de la hauteur. »



Les physiciens Paul Davies et Charles Lineweaver défendent une théorie du cancer simple, saisissante et radicale: *« Nous soutenons que l'origine du cancer n'est pas à chercher dans l'accumulation de mutations, mais dans la réactivation des mécanismes cellulaires ancestraux forgés avant l'apparition de la vie multicellulaire. »* Au sein de l'édifice de milliers de milliards de cellules remarquablement disciplinées qui nous constituent, les cellules cancéreuses seraient des renégates: elles rompraient un pacte établi il y a près d'un milliard d'années, lorsque les cellules animales primitives ont commencé à former les premières créatures multicellulaires. Aujourd'hui, chez nous les animaux, les cellules sont toutes contraintes de se mettre au service d'un organe, lui-même au service d'un organisme. Mais à l'époque, simples cellules solitaires, elles étaient libres de proliférer pour leur propre compte et d'employer, pour assurer leur survie, tous les moyens hérités de leurs ancêtres bactériens. *« Et c'est exactement ce que font les cellules cancéreuses »,* estime l'oncologue Mark

LE RÉVEIL DE NOS ANCÊTRES UNICELLULAIRES

Vincent, du London Health Sciences Center, arrivé lui aussi à la même conclusion. Une cellule cancéreuse serait donc une cellule qui renoue avec la violente dynamique d'antan. Détachée des contraintes propres à la vie en groupe, elle réemploie les mêmes armes qui ont assuré le succès évolutif de ses lointains ancêtres unicellulaires et devient un redoutable ennemi intérieur.

D

e quoi le cancer est-il le nom? D'où vient-il? Comment et pourquoi est-il apparu? «*Ce sont les premières questions que j'ai naïvement posées aux spécialistes, se souvient le physicien Paul Davies, de l'université d'État de l'Arizona, et je n'ai obtenu aucune réponse satisfaisante.*» Nous sommes alors en 2008: Anna Barker, directrice adjointe de l'influent National Institutes of Health, aux États-Unis, vient tout juste de le solliciter. «*Elle souhaitait que des scientifiques évoluant en dehors du domaine apportent leur pierre à l'édifice*», confie l'éminent physicien.

DE L'AUDACE

Quinze ans plus tard, Paul Davies assume désormais crânement son rôle de faux naïf. Patiemment, avec son collègue astrophysicien Charles Lineweaver, il a échafaudé rien de moins qu'une nouvelle théorie sur le cancer. Selon eux, il faut voir cette maladie comme un atavisme, la réapparition d'une forme de vie ancestrale refoulée. Le cancer est la réactivation de dynamiques génétiques archaïques héritées de nos lointains ancêtres unicellulaires, d'ordinaire réprimées par les gènes plus jeunes apparus avec la vie multicellulaire. Une idée tout juste étayée par de nouveaux faits: «*Comme prédit par cette théorie, nous avons confirmé que des gènes associés à la vie unicellulaire étaient davantage exprimés au*

sein des cellules cancéreuses», décrit le biologiste de l'évolution Yong Zhang, de l'Institut de zoologie de Pékin, qui a publié ces résultats en décembre dernier.

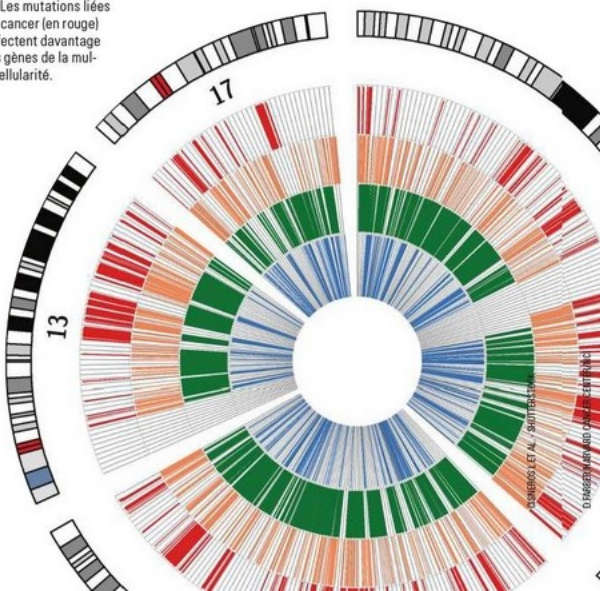
«*J'ai tout de suite trouvé cette théorie fascinante*», salue le biologiste et informaticien australien David Goode, du Peter MacCallum Cancer Centre. «*Cela a été pour moi une illumination*», déclare de son côté le biomathématicien Jean Clairambault, spécialiste à l'Inrae de la modélisation des tumeurs. «*L'idée que c'est un stress de l'environnement cellulaire qui oblige les cellules à abandonner leur comportement multicellulaire pour tenter de survivre comme le feraient des êtres unicellulaires est passionnante*», abonde Jean-Pascal Capp, biologiste moléculaire spécialiste du cancer, à l'Insa de Toulouse. «*Soudain,*

quand on commence à penser le cancer de cette manière, tout prend sens», assure l'oncologue canadien Mark Vincent, au London Health Sciences Center, dont les idées ont très tôt convergé avec celles de Paul Davies et Charles Lineweaver.

ON N'Y COMPREND RIEN

Il faut reconnaître à ces physiiciens une certaine audace pour oser affirmer que les biologistes et les médecins n'avaient jusqu'ici rien compris à ce fléau malgré leur mobilisation massive depuis des décennies. D'autant plus qu'on assiste à des progrès tangibles des traitements. En France, par exemple, le pourcentage de personnes en vie cinq ans après leur prise en charge a augmenté d'au moins 10 points entre 1990 et 2015 pour la plupart des cancers. «*Il y a eu certes des*

Les mutations liées au cancer (en rouge) affectent davantage les gènes de la multicellularité.



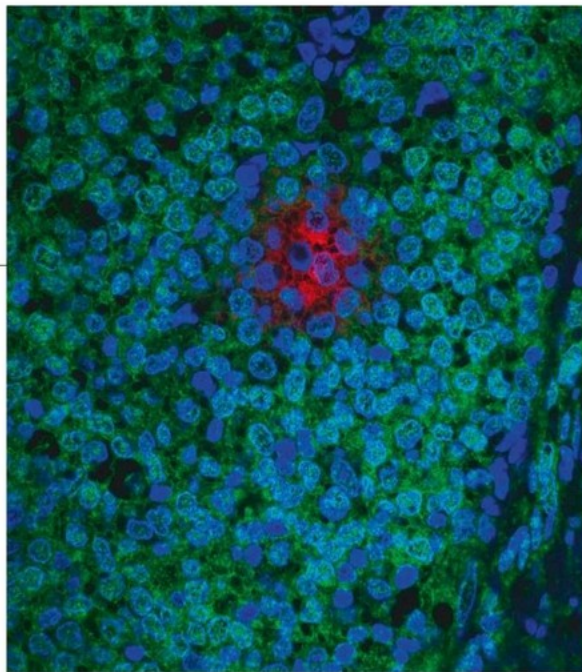
LES ARGUMENTS DE LA GÉNÉTIQUE

LES TUMEURS ONT UN MÉTABOLISME ARCHAÏQUE

Dès le début du XX^e siècle, le médecin et biochimiste allemand Otto Heinrich Warburg remarque que «*les cellules cancéreuses survivent au manque d'oxygène comme les cellules primitives*». «*Ce commentaire m'a frappé*», confie l'oncologue Mark Vincent. Cet «*effet Warburg*» a depuis été largement confirmé: l'énergie des tumeurs provient principalement d'une source archaïque, la fermentation des sucres.

ELLES ÉLIMINENT LES GÈNES MODERNES

Cette trajectoire régressive a été révélée en 2017 par la généticienne Kimberly Bussey au côté de Charles Lineweaver et Paul Davies: «*Nous avons établi que les gènes apparus il y a moins de 500 millions d'années, soit après l'explosion de la vie multicellulaire, étaient davantage mutés dans le cancer.*» Ces mutations peuvent conduire jusqu'à la perte du gène en question.



ELLES RÉEXPRIMENT LES GÈNES ANCESTRAUX

C'est en revisitant les impressionnantes données du Cancer Genome Atlas, qui regroupe les profils génétiques de milliers de tumeurs isolées chez des patients, que l'équipe du bio-informaticien David Goode a démontré cette tendance: «*L'activité des gènes les plus anciens augmente avec le cancer*», résume-t-il. «*C'est aussi ce que nous observons*», avance son confrère chinois Yong Zhang.

ELLES RÉAGISSENT COMME DES BACTÉRIES

Trois équipes ont indépendamment confirmé depuis 2019 que les cellules cancéreuses réagissent au stress de la même manière que les bactéries: en hyper-mutant, afin de favoriser l'apparition de versions résistantes au stress. «*Elles activent des protéines ancestrales de réparation de l'ADN, moins fidèles que les mécanismes usuels*», explique l'oncologue italienne Mariangela Russo.

UNE THÉORIE QUI VIENT DE LOIN

Le biologiste allemand Theodor Boveri (1862-1915) est célèbre pour ses observations des divisions cellulaires d'embryons d'oursins, qui l'ont conduit à formuler la théorie chromosomique de l'hérédité. Moins connues, ses réflexions sur la genèse du cancer n'en sont pas moins remarquables. Il y défend l'idée que cette maladie résulterait d'anomalies génétiques déclenchées au cœur d'une cellule, une idée qui s'est largement imposée jusqu'ici. Mais il y esquisse aussi une première description de la théorie atavique. « *L'analogie entre le cancer et les êtres unicellulaires était déjà là* », salue la généticienne Kimberly Bussey.



améliorations grâce à de meilleurs outils de diagnostic permettant de détecter des formes précoces de la maladie, plus faciles à traiter, et à l'arrivée des immunothérapies au début des années 2000. Mais dans l'ensemble, les gains de survie demeurent modestes», douche l'éminent oncologue Robert Gatenby, du Moffitt Cancer Center à Tampa, en Floride.

Tous les scientifiques engagés dans la lutte contre le cancer reconnaissent effectivement que malgré un déploiement considérable de moyens techniques pour sonder les racines du mal à des échelles de plus en plus fines, des progrès plus que substantiels restent à faire pour améliorer la survie des patients, minimiser les effets secondaires, et éviter

l'apparition de résistances aux traitements. « *Nous sommes assis sur un tas gigantesque de données moléculaires et, notamment, de données génétiques, depuis l'arrivée massive du séquençage haut débit de l'ADN des tumeurs il y a une quinzaine d'années, et qu'avons-nous appris de plus?* », interroge l'oncologue, circonspect.

LOGIQUE DARWINIENNE

C'est ce même sentiment que partageait Anna Barker en 2008: et si on n'avait pas compris le cancer? Et s'il fallait des idées radicalement nouvelles pour repenser la maladie? « *Il nous a très vite paru évident que pour comprendre ce qu'est le cancer, il fallait remonter à l'origine même de la vie multicellulaire* », soutient aujourd'hui

Charles Lineweaver. L'astrophysicien, plus habitué à l'étude du fond diffus cosmologique et des exoplanètes, et son collègue, spécialiste de la théorie quantique des champs, ont suivi ici une logique purement darwinienne.

Ils se sont d'abord fondés sur un fait saillant de la maladie pourtant rarement réinterrogé par les spécialistes: le cancer n'est pas le propre des humains. Il est présent chez tous les animaux – malgré quelques rares exceptions comme le rat-taupe



s'apparentent fortement à celles des organismes unicellulaires», constate Paul Davies. Qui cite la capacité des cellules cancéreuses à s'affranchir de la mort cellulaire et à se multiplier sans fin, exactement comme le font des bactéries, les protistes ou certains champignons; leur capacité à accélérer la mutation de leur ADN face à un stress, comme le

Il faut se rendre à l'évidence : on a besoin d'idées radicalement nouvelles pour repenser le cancer

font les bactéries face aux antibiotiques; ou encore leur préférence à produire leur énergie par fermentation en l'absence d'oxygène. « *Ce n'est pas une idée nouvelle* », souligne d'ailleurs la généticienne du cancer Kimberly Bussey, de l'université d'État de l'Arizona. « *Le biologiste allemand Otto Warburg avait remarqué dès 1924 que les cellules cancéreuses se comportent exactement comme des cellules primitives*, rappelle Mark Vincent. « *Si le cancer se manifeste chez tous les êtres multicellulaires, c'est qu'il était déjà latent chez leur ancêtre commun* », conclut Charles Lineweaver. Comme le martelait en 1973 l'éminent biologiste et généticien Theodosius Dobzhansky, « *rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution* ».

«EFFET WARBURG»

Les deux oncophysiologistes se sont appuyés sur un second fait, tout aussi saillant: « *Les caractéristiques des cellules cancéreuses très bien résumées dès le début des années 2000 par l'oncologue Robert Weinberg*

différents (poumons, sein, prostate, foi, côlon, estomac), cette équipe a établi que toutes ces cellules cancéreuses, quel que soit leur organe d'origine, réduisaient la contribution des gènes essentiels à la vie multicellulaire en faveur de gènes déjà présents chez les êtres unicellulaires. « *Le retour à la vie unicellulaire des cellules cancéreuses nécessite un profond réarrangement du génome* », explique Kimberly Bussey. « *On pourrait envisager d'utiliser ce signal pour diagnostiquer l'état de gravité d'une tumeur* », imagine même David Goode, sur la base de travaux préliminaires allant dans ce sens. « *Nous avons également observé que les mutations endommagent en priorité les gènes qui brident les fonctions unicellulaires* », ajoute-t-il.

LA FIN DU VIVRE-ENSEMBLE

Ces gènes unicellulaires ont justement été identifiés de longue date pour leur capacité à réprimer la formation de tumeurs en augmentant la qualité de réparation de l'ADN ou en bridant la prolifération. C'est d'ailleurs leur présence en excès qui expliquerait le très faible taux de cancer chez le rat-taupe nu ou les grands cétacés. Sachant qu'une large fraction de ces oncogènes est justement apparue de manière concomitante avec la vie multicellulaire – ce qui a été démontré en 2010.

Tout converge pour voir le cancer comme la suppression des gènes et des fonctions du vivre-ensemble, et non comme une mutation plus ou moins aléatoire. « *Cela est bien plus cohérent et parcimonieux du point de vue évolutif que d'imaginer, comme le font encore beaucoup de chercheurs, que les mutations au sein des cellules cancéreuses créent de nouvelles fonctions* », ajoute



L'ESPOIR DE NOUVELLES VOIES THÉRAPEUTIQUES

Charles Lineweaver, qui rappelle que la prolifération et la mobilité de nos cellules embryonnaires sont en tout point semblables à celles des cellules cancéreuses, et inversement: «*Tout ce qu'une cellule cancéreuse fait, une cellule normale peut le faire.*»

POINT D'OMBRE

Étrangement, malgré ces faisceaux d'indices, la théorie de l'atavisme n'a pas reçu beaucoup d'attention dans la communauté des experts du cancer — on compte une petite douzaine d'articles scientifiques depuis que Paul Davies, Charles Lineweaver et Mark Vincent ont relancé l'hypothèse en 2011. «*Elle reste à ce jour très minoritaire*», admet la bio-informatrice spécialiste du cancer Angélique Stéphanou, au CNRS, qui s'apprête à réaliser des simulations pour tester certaines prédictions de la théorie. «*Beaucoup de mes collègues se contentent de l'explication selon laquelle la maladie résulte d'un hasard, après l'accumulation au cours de la vie de mutations néfastes dans une cellule*», constate le biologiste moléculaire et cellulaire Thomas Grunt, de l'université de Vienne. «*La grande majorité des oncologues ne s'intéressent pas à ces débats théoriques, déplorent lui aussi Mark Vincent. Ils veulent des solutions concrètes pour traiter les patients.*»

Traiter le cancer comme un parasite, l'attaquer avec des virus, modifier son environnement... La

théorie de l'atavisme confirme le bien-fondé de ces pistes thérapeutiques et encourage à les développer. Mais c'est à la fois la force et la faiblesse de cette hypothèse: «*Ce sont des horizons de recherche trop fondamentaux et encore trop vagues pour être rapidement déclinés en solutions contre la maladie*», analyse le philosophe des sciences Thomas Pradeu, au CNRS, qui scrute depuis plusieurs années ces avancées. «*En outre, dans sa formulation actuelle, la théorie de l'atavisme repose trop souvent sur des analogies séduisantes, mais qui manquent de précisions*», estime encore le philosophe.

Des questions demeurent en effet sur la frontière exacte entre unicellulaire et multicellulaire: «*Les cellules cancéreuses ressemblent moins à des êtres unicellulaires ancestraux qu'à des êtres unicellulaires intermédiaires, incapables de se développer indépendamment*», nuance la biologiste de l'évolution et du cancer Aurora Nedelcu, de l'université du Nouveau-Brunswick. Une incertitude également alimentée par le fait que «*les fonctions souvent attribuées à la vie multicellulaire, comme la régulation de la mort cellulaire ou la communication et la coopération intercellulaires, existent aussi sous des formes moins élaborées chez les unicellulaires*», précise la chercheuse.

«*L'autre point d'ombre, abonde Jean-Pascal Capp, c'est l'explication des causes de la régression.*»

TRAITER LE CANCER COMME UN PARASITE

Parce que les tumeurs sont assimilables à des colonies hétérogènes de parasites — chaque centimètre cube d'une tumeur peut contenir jusqu'à un milliard de cellules! —, «*il faut appliquer des thérapies inspirées des stratégies d'éradication des parasites*», soutient logiquement le physicien Paul Davies. Quand l'éradication est jugée impossible, il est préférable d'employer la dose minimale d'anticancéreux afin d'éviter l'émergence de résistances au traitement. «*Il faut privilégier la survie et le bien-être du patient plutôt que l'éradication*», soutient également l'oncologue Robert Gatenby, qui a le premier mis en pratique cette médecine, dite adaptative, pour traiter les cancers métastatiques de la prostate. Résultat: les premières évaluations suggèrent qu'il est possible de stabiliser le cancer durant au moins un an avec une thérapie hormonale minimale.

CIBLER SES CAPACITÉS D'HYPERMUTATION

«*Comme chez les bactéries, l'instabilité génétique est la première force des cellules cancéreuses*», rappelle la biologiste cellulaire Jekaterina Erenpreisa. «*Pouvoir gripper les mécanismes favorisant l'émergence de mutations en réponse au traitement pourrait changer la donne*», confirme de son côté Thomas Grunt. Quant à l'oncologue Mark Vincent, il a lancé des évaluations précliniques d'une molécule inhibant une protéine primitive, RAD51, impliquée dans la capacité des cellules cancéreuses à modifier plus rapidement leur ADN. Mariangela Russo est également en train d'évaluer des molécules ciblant les mécanismes d'hypermutation qu'elle a identifiés en 2019 dans le cadre de cancers colorectaux: «*Plusieurs autres molécules sont également prometteuses*.» Il faut dire que cette lutte contre le fléau de la résistance au traitement mobilise aujourd'hui largement la recherche.

MODIFIER SON MICRO-ENVIRONNEMENT

Réduire la quantité de sucres et l'acidité, ou augmenter l'oxygène à l'intérieur des tumeurs, «*ce sont des approches qui auraient du sens au regard de la théorie*», gage l'un de ses penseurs, le physicien Charles Lineweaver. «*Renormaliser l'environnement tumoral est une piste thérapeutique intéressante*, abonde la biologiste et spécialiste de la modélisation du cancer Angélique Stéphanou. Elle a déjà commencé à être explorée.» Ainsi, plusieurs études ont évalué les bienfaits potentiels d'un régime cétogène, pauvre en glucose, en complément des thérapies classiques. L'ingestion de molécules désacidifiantes, comme le bicarbonate de soude, est aussi à l'étude. L'idée est simple: faire sortir les cellules de leur environnement «*archaïque*», où leur endurance excelle, afin de déborder leurs défenses aux traitements.

RÉQUISITIONNER SES ENNEMIS UNICELLULAIRES NATURELS

C'est l'un des marqueurs de la régression des cellules cancéreuses: en échappant au système immunitaire de leur hôte, elles se privent de ses services. Face aux bactéries et aux virus, elles ne peuvent donc plus s'en remettre qu'à leurs seules défenses archaïques. «*En injectant dans les tumeurs des virus ou des bactéries contre lesquels l'organisme serait au préalable immunisé, l'infection pourrait librement tuer les cellules cancéreuses sans risque pour les cellules saines*», prédit Charles Lineweaver. Bien qu'encore timides, de telles thérapies existent déjà sous la forme de virus et de bactéries dits oncolytiques, à l'image de la forme inactivée de la bactérie *Mycobacterium tuberculosis* — à la base du vaccin contre la tuberculose — déjà commercialisée depuis les années 1980 pour combattre le cancer de la vessie.



BETTY IMAGES/WA.AFP - PHOTODISC/AFIP



Le cancer crée une nouvelle forme de vie

FREDÉRIC THOMAS,
BIOLOGISTE DE L'ÉVOLUTION ET DU CANCER,
DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS

Vous êtes l'un des rares biologistes de l'évolution à vous intéresser au cancer. Quel regard portez-vous sur la théorie de l'atavisme ?

Sur le plan évolutif, c'est une théorie qui a du sens. La sélection naturelle ne travaille pas comme un parfait ingénieur qui éliminerait au fur et à mesure les briques du passé. Il y a un « déjà-là » toujours exploitable. L'évolution fourmille d'exemples d'espèces qui se sont adaptées à de nouvelles conditions de vie en renouant avec d'anciennes stratégies. Il n'est donc pas étonnant d'observer chez le cancer la réémergence de solutions préexistantes.

Vous privilégiez toutefois une vision légèrement différente, articulant l'atavisme à la théorie de l'origine tissulaire...

Le rapprochement des deux théories me paraît stimulant. Dans sa formulation stricte, la théorie de l'atavisme ne met pas assez l'accent sur l'importance des relations cellulaires au sein des tissus, autrement dit de leur écosystème. Or il n'y a pas d'évolution sans écosystème. La théorie TOFT, en faisant du cancer une maladie du tissu et non d'une seule cellule, apporte l'idée, très importante selon moi, qu'il n'y a pas nécessairement besoin de mutations pour que des cellules se mettent à proliférer sauvagement. C'est en quelque sorte l'effondrement de l'écosystème multicellulaire

qui pousse les cellules à retrouver leurs réflexes unicellulaires.

Il manque pourtant selon vous beaucoup d'observations pour valider ces théories...

Nous fondons ces réflexions sur des cancers que nous pouvons détecter, autrement dit déjà relativement avancés. Or, de petites populations cancéreuses apparaissent et disparaissent en permanence sans laisser de trace. Il faudrait pouvoir confronter la théorie à ces formes éphémères.

Vous défendez aussi l'idée qu'en renouant avec un mode de vie unicellulaire,

les cellules cancéreuses créent une nouvelle forme de vie. C'est-à-dire ?

On me riait au nez autrefois à ce sujet. Cela a changé. Je pense en effet que l'apparition des tumeurs est comparable à un événement de spéciation. Au point que certains cancers, certes rares, sont parvenus à échapper à leur hôte d'origine et à parasiter d'autres individus, comme c'est arrivé chez les chiens ou les diables de Tasmanie. Des collègues russes ont aussi proposé que des espèces de parasites microscopiques soient apparues ainsi.

HANNAH ASSOLINE



théorie qui partage de nombreux points avec celle de l'atavisme.

Carlos Sonnenschein déplore les innombrables bricolages de la théorie des mutations somatiques pour tenter de la faire coller aux réalités expérimentales de plus en plus contradictoires. Il les voit comme « d'énîmes épicycles », en référence à la théorie géocentrique de Ptolémée, devenue de plus en plus compliquée au fil des observations astronomiques... jusqu'à ce que Copernic simplifie le tout en mettant le Soleil, et non la Terre, au centre du Système. Et s'il était temps de changer de paradigme ? Et si, pour mieux lutter contre le cancer, il fallait commencer par mieux le comprendre ?

Pour aller encore plus loin

Un livre
Visionnaire. Destin du cancer. Nature, traitement, prévention, Fayard, 1997. Le cancérologue Lucien Israël, décédé en 2017, évoquait dès les années 1990 l'hypothèse de l'atavisme.

Une visioconférence
Éclairant. En 2021, dans le cadre de la Fête de la science, le musée de Bourges invitait Frédéric Thomas à partager sa vision du cancer à l'aune de la théorie de l'évolution. www.youtube.com/watch?v=hhz2aA20d6c

Un podcast
Excitant. L'ambition de cette nouvelle médecine adaptative vise à soigner le cancer en s'appuyant sur les principes de l'évolution. Elle est évoquée ici par le médecin Luc Perino. <https://uriz.fr/dao>





DANS LA PANIQUE

Parce qu'il captive l'attention comme aucun autre réseau social, et aussi parce qu'il est chinois, TikTok inquiète les pays occidentaux, qui craignent autant son influence politique que ses effets sur le cerveau des ados. Faut-il vraiment avoir peur de TikTok? Nous avons posé la question aux scientifiques.

PAR ALEXANDRA PIHEN

SHUTTERSTOCK

D

es chiens qui font leur show, une ado affichant son addiction au beurre – quelle dévore à raison de 5 kg par jour –, une chorégraphie joyeuse, un jeune homme annonçant son suicide, des personnes handicapées soutenues par leurs proches, de la propagande religieuse, un gamin maltraitant sa mère, quelques reprises de *The Voice*... Une demi-heure a suffi pour être écocœurée et fermer l'application. Jusqu'au lendemain – histoire d'en avoir le cœur net. Pour se surprendre finalement, trois jours après, à passer une heure à « liker » d'un double-clic à l'écran des performances chantées, la larme à l'œil. L'expérience est loin d'être représentative. Reste qu'en moins de trois fois une demi-heure, TikTok a trouvé le moyen de happer l'attention de l'auteure de ces lignes...

Le succès de l'application chinoise a été fulgurant. Lancée en 2017 par la société mère ByteDance, un an après sa version chinoise Douyin, l'app de création et de partage de vidéos est la plus téléchargée au monde depuis 2020. « *En termes d'audience et de taux d'engagement des utilisateurs, c'est la première fois qu'un service fait peur aux gros à ce point-là* », assure le chercheur en design Anthony Masure, de la Haute École d'art et de design de Genève et de la HES-SO.

COMMISSIONS D'ENQUÊTE, INTERDICTIONS...

Et TikTok n'inquiète pas que Meta, Google ou Snapchat. Ces dernières semaines, parents et médias dénoncent des contenus futiles, abrutissants, voire dangereux pour la santé mentale des adolescents... États-Unis en tête, les démocraties occidentales s'alarment. En France, une commission d'enquête a même été lancée au Sénat début mars: « *Le succès impressionnant de TikTok, notamment auprès de la jeunesse, rend plus nécessaire encore de dissiper certaines zones d'ombre: comment fonctionne son algorithme, pourquoi est-il plus addictif que d'autres réseaux, a-t-il des effets néfastes sur le développement du cerveau des adolescents et des enfants?* », pose Mickaël Vallet, président de la commission, sur le site du Sénat. Sans compter la question des données.

9 millions
d'utilisateurs
journaliers en
France

47%

d'entre eux
ont entre
13 et 24 ans

95
minutes
par jour, c'est
le temps moyen
qu'ils passent
sur TikTok

Dès 2020, Donald Trump estimait que TikTok « *saisit automatiquement de vastes quantités d'informations sur ses utilisateurs* », ce qui « *menace de permettre au Parti communiste chinois d'accéder aux informations personnelles et exclusives des Américains* ». Depuis fin 2022, les législateurs du monde entier interdisent à tour de bras l'application aux fonctionnaires. « *Nous ne sommes pas en mesure d'affirmer que TikTok n'est pas un instrument potentiel de désinformation ou de manipulation au profit de régimes non démocratiques, ni que son utilisation est sûre au regard de la nécessaire protection des données* », avance Claude Malhuret, rapporteur de la commission du Sénat. Alors? Que penser de cette panique? Faut-il vraiment avoir peur de TikTok?

Retour devant l'écran. Bien que le fonctionnement exact de l'algorithme soit tenu secret, ses mécanismes de base sont similaires à ceux des autres applications – et non dopés à l'intelligence artificielle, comme le clament ses concepteurs. TikTok ne semble pas non plus récolter plus de données, ni de données plus significatives qu'Instagram ou Facebook: elles sont issues des interactions entre utilisateurs, des informations liées aux vidéos, des paramètres du smartphone, du compte utilisateur. « *Il n'y a pas de saute secrète pour l'algorithme de TikTok* », confirme Marc Faddoul, chercheur en intelligence artificielle et codirecteur de Tracking Exposed, une société centrée sur les questions de suivi et d'exploitation des données des utilisateurs en ligne. *Tout se joue au niveau du design.* »

Colonne vertébrale de l'app: la page appelée « For You », un flux infini de vidéos très courtes, de 3 secondes à 10 minutes, diffusées en plein écran qu'un simple coup de pouce vers le haut permet de quitter pour passer à la suivante. Le rythme avec lequel on balaise le contenu et la vitesse avec laquelle l'algorithme apprend à connaître les intérêts, les goûts et la personnalité de

l'utilisateur semblent être une des clés du succès. « *40 minutes suffisent pour avoir une expérience satisfaisante* », constate Anthony Masure.

L'autre spécificité de TikTok étant... que ce n'est pas vraiment un réseau social. « *Contrairement aux autres réseaux, le cœur de l'interaction ne s'effectue pas avec les différents utilisateurs mais plutôt entre l'utilisateur et une version "algorithmée de lui-même"* », analyse Evan Giret, au Laboratoire de psychologie et neurosciences de la dynamique des comportements de l'université de Lorraine. Comme les autres réseaux sociaux, TikTok offre la possibilité d'aimer – de « liker » – et de commenter les vidéos, de suivre des personnes, d'envoyer des messages et, bien sûr, de diffuser ses propres contenus. Mais il place surtout l'algorithme au cœur de l'expérience qu'il engendre.

BULLE DE CONFORT

« *La viralité est moins centrée sur le réseau* », confirme Marc Faddoul. La page For You présente du contenu de n'importe quel créateur, qu'on ait interagi avec lui ou non. » L'utilisateur a ici un rôle actif sur l'algorithme, qu'il peut influencer voire manipuler, jusqu'à se fabriquer une sorte de collection audiovisuelle rassurante de son « moi » intérieur, une bulle de confort et d'inspiration ciblé.

Est-ce vraiment plus dangereux pour le cerveau des ados que les autres réseaux sociaux? Rien ne permet de l'affirmer... sachant qu'il existe encore très peu de travaux étudiant spécifiquement l'impact de TikTok sur leur cerveau, ni celui de Snapchat d'ailleurs – les applications phares des adolescents sont un peu passées sous les radars de la recherche.

Reste que TikTok joue sur les mêmes effets de récompenses sociales et de renforcements positifs que les autres réseaux: les likes que l'on reçoit ont des effets cérébraux assez similaires à ceux produits par un retour positif dans la vie réelle – des effets auxquels le cerveau



« Le succès impressionnant de TikTok, notamment auprès de la jeunesse, rend plus nécessaire encore de dissiper certaines zones d'ombre »

Mickaël Vallet, président de la commission d'enquête sur l'utilisation du réseau social TikTok, son exploitation des données, sa stratégie d'influence, au Sénat

des ados est plus sensible, avec son système de régulation émotionnelle encore en formation. « *L'effet est quand même assez puissant*, estime Grégoire Borst, directeur du laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant au CNRS et à l'université Paris-Cité. *Quand vous anticipez une récompense espérée, certains noyaux du système limbique propres aux émotions s'activent en prédiction des likes à venir.* »

Oui, TikTok fait tout pour capter l'attention, au point parfois de la parasiter, voire de ne plus pouvoir cuisiner ou regarder un film sans garder un œil sur les contenus rythmés de son appli. →

«C'est sûr, ce réseau joue sur un certain nombre de processus qui captent l'attention, convient Grégoire Borst. Mais quand vous passez toute la nuit dans un bouquin dont l'histoire vous emporte, personne n'y trouve à redire». Et le psychologue de recadrer le débat: «Les médias sociaux n'ont pas fait s'effondrer les capacités attentionnelles globales de ces nouvelles générations; elles sont en revanche dans un environnement qui les sursollicite.»

Les médias sociaux n'ont pas fait s'effondrer les capacités attentionnelles globales des nouvelles générations

Grégoire Borst, directeur du laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant au CNRS

Une question qui n'est propre ni à TikTok ni aux adolescents. «Les médias sociaux et tous les usages récréatifs en ligne peuvent faire perdre la notion du temps à tout utilisateur, raconte Michael Rich, médecin spécialiste des médias à Harvard. Et il peut y avoir un problème avec ce que l'on ne fait pas parce qu'on est en ligne, comme dormir, faire ses devoirs, faire de l'exercice physique, manger à table, etc.» Les autorités chinoises ont d'ailleurs limité à 40 minutes par jour le temps passé par les moins de 14 ans sur Douyin.

Mais en l'état des connaissances scientifiques, aucune étude ne prouve que le temps passé par les ados sur les réseaux affecte leur bien-être. «L'alarmisme constant est à prendre avec des pincettes: de manière générale, il est impossible de conclure que l'utilisation des réseaux sociaux a des effets négatifs», juge Evan Giret.

Sachant que ces médias ont aussi des effets positifs, comme la réduction du stress, la connexion sociale. «Certains groupes marginalisés ont bénéficié d'une visibilité

qu'ils n'avaient pas avant et peuvent profiter du soutien de communautés en ligne», illustre Andrea Giedinghagen, psychiatre à l'université de Washington. «Les ados font aussi preuve de beaucoup de créativité sur TikTok, c'est assez impressionnant», ajoute Grégoire Borst.

RIEN DE NOUVEAU

Bien sûr, l'impact varie avec l'âge, la préexistence de troubles mentaux, les traits de caractère, la capacité de régulation émotionnelle, le soutien social... «Aux États-Unis, l'adolescent moyen passe 7 heures par jour sur les médias sociaux», pointe Andrea Giedinghagen. Peu de parents déposeraient leurs enfants dans une ville inconnue et les laisseraient errer seuls pendant toute une journée: ils devraient également superviser les activités liées aux médias sociaux et discuter des risques avec leurs enfants, notamment les défis, les contacts avec des adultes potentiellement malveillants et la cyber-intimidation.» Bref, l'impact des réseaux sur la santé mentale des ados est un sujet complexe, qui dépasse le cas de TikTok.

Reste l'influence politique pointée par la commission du Sénat: les jeunes cerveaux ne pourraient-ils pas être manipulés par une propagande diffusée par le Parti communiste chinois

Il est impossible de conclure que l'utilisation des réseaux sociaux a des effets négatifs

Evan Giret, du Laboratoire de psychologie et neurosciences de la dynamique des comportements de l'université de Lorraine

via l'application? «Dans ce cadre précis, très sérieux, TikTok pourrait servir à affaiblir la capacité de résistance des sociétés visées: les populations occidentales en particulier», anticipe Julien Nocetti, géopoliticien et spécialiste du cyberspace aux Écoles de Saint-Cyr Coëtquidan. Si les utilisateurs ont le sentiment de se servir d'une application ludique et bénigne, l'abaissement de leur vigilance, leur dépendance, leur détournement vis-à-vis de l'apprentissage classique et de la participation active à la vie sociale peuvent être craints.»

En soi, rien de nouveau. «Les autorités chinoises achètent déjà depuis longtemps des espaces publicitaires à coups de centaines de millions de dollars pour afficher leur propagande dans les vidéos des groupes Meta, Google...», pointe Hermann Aubié, spécialiste de politique contemporaine, des droits de l'homme et des transformations de la société civile en Chine et en Asie de l'Est à l'université de Turku, en Finlande.

Et sur TikTok? «S'ils le font, c'est de manière assez subtile pour que ça ne soit pas visible», constate Marc Faddoul.

Jusqu'ici, l'application chinoise est surtout le miroir des sociétés: «En Finlande, par exemple, les contenus sont moins provocateurs et moins extrêmes que ceux présentés aux États-Unis», illustre Hermann Aubié. Grégoire Borst s'agace de cette menace: «Violence, contenus ou actes inappropriés... les adolescents ont la capacité de mettre de la distance entre le réel et une vidéo TikTok! Ils sont tout à fait capables d'effectuer des processus de réévaluation cognitive, c'est-à-dire de s'engager dans une réflexion par rapport à ce qu'ils voient pour le remettre en cause.» «Ce serait surestimer les adultes que de se dire que seuls les jeunes ne peuvent pas faire la part des choses», ajoute avec malice Anthony Masure.

Et que penser de la protection des données personnelles, que ByteDance, comme toute entreprise chinoise, doit fournir au Parti communiste chinois si celui-ci en fait la demande? Face aux inquiétudes exprimées en Europe, l'entreprise propose notamment de délocaliser les serveurs de données en Irlande et en Norvège. «Ce n'est

pas une garantie suffisante pour assurer la protection des données», tranche Marc Faddoul. Soulignant par ailleurs que la Chine n'a pas attendu TikTok pour pomper les données personnelles. C'est aussi ce qui fait aujourd'hui la puissance et la force des Meta, Google et compagnie.»

Mais les données de l'application préférée des adolescents cachent un autre enjeu, qui obnubile beaucoup plus les

Ce serait surestimer les adultes que de se dire que seuls les jeunes ne font pas la part des choses

Anthony Masure, responsable de la recherche à la Haute école d'art et de design de Genève

autorités occidentales, et tout particulièrement les États-Unis: la suprématie en matière d'intelligence artificielle. «C'est une crise existentielle des États-Unis par rapport à la montée de la Chine», juge Hermann Aubié. Car, au-delà des questions de vie privée, la vertigineuse masse de contenus générés sur TikTok pourrait servir à éduquer plus finement les systèmes d'intelligence artificielle chinois en langage naturel. «En Chine, les compétiteurs d'OpenAI, le créateur de ChatGPT, n'ont pas suffisamment de contenus en langue étrangère pour pouvoir rivaliser», confirme Hermann Aubié. Et Julien Nocetti d'insister: «En matière de traitement du langage naturel, on peut estimer que Pékin sera capable d'en instrumentaliser les potentialités à des fins stratégiques, là aussi en alimentant des campagnes de manipulations de l'information.»

Et pendant ce temps, sur l'écran, de nouvelles chorégraphies se bousculent encore pour attirer mon attention...

NOS SOURCES

A. Bhandari & S. Bimo, Social Media + Society (2022); C. Montag, H. Yang & J.D. Elhai, Front. Public Health (2021); I. Siles, L. Valerio-Alfaro & A. Meléndez-Moran, New Media & Society (2022); P. Charon & J.-B. Jeangène & Vilmer, Isère (2021). Retrouvez toutes nos sources sur epsilononline.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par Epsilononline.

DINOSAURES

Les momies commencent à parler

Un vrai fantôme de paléontologue.

Des fossiles de dinosaures ont conservé leurs griffes, leurs écailles, leurs entrailles, toutes miraculeusement minéralisées : en un mot, des momies. Qui racontent de nouveaux détails de la vie de ces animaux.

PAR VALÉRIE GREFFOZ

Cuirasse
de nodosaure
momifiée

© G. B. CLARK



Il est mort au printemps

C'est en étudiant les anneaux de croissance d'une brindille retrouvée dans son estomac que les chercheurs sont parvenus à l'établir avec une précision aussi stupéfiante. Ce nodosaure a consommé son dernier repas à la fin du printemps ou au début de l'été, il y a 110 millions d'années...

Il était brun-roux

On connaît la couleur de ce nodosaure dont la momie a été découverte en 2011 dans l'Alberta. Grâce à des composants de phéomélanine, un pigment retrouvé dans sa cuirasse, on sait que ce herbivore de 1300 kilos était plus foncé sur le dos que sur le ventre: ce camouflage témoigne de la forte pression de prédation à laquelle il était soumis.

Il mangeait surtout des fougères

Une cassure dans sa cavité abdominale a permis d'observer le contenu de son estomac en microscopie. On y trouve des feuilles de cycas, des aiguilles de conifères, mais surtout des feuilles de fougères. Des traces de charbon de bois révèlent même que sa gourmandise le poussait à aller les brouter jusque dans les forêts récemment brûlées.



Il se battait en duel

La momie de ce gros « lézard rigide » a 75 millions d'années. Les chercheurs ont observé que toutes les pointes cassées de son armure se situent précisément sur son flanc, près des hanches, pile à l'endroit où la queue de son adversaire pouvait l'atteindre.

ANKYLOSAURE



Il avait une vie sociale complexe

La forme très bien conservée de sa queue en forme de massue, ses grandes écailles renforcées par une armure osseuse... Tout cela montre qu'il était préparé pour les combats ritualisés entre congénères se disputant la domination sociale.

ROYAL ONTARIO MUSEUM / ROYAL TYRRELL MUSEUM - ROBERT CLARK

Il a été dévoré par un ancien crocodile

Cet hadrosaure surnommé « dinosaure à bec de canard », a été tué il y a 67 millions d'années. Les traces de dents (les 4 cercles jaunes bien visibles ici) retrouvées sur la patte avant de ce paisible herbivore sont caractéristiques de son prédateur naturel, un ancien cousin des crocodiles.

Son cadavre est longtemps resté à l'air libre

L'état de sa peau, dégonflée et séchée, suggère qu'il est resté plusieurs semaines, voire plusieurs mois à l'air avant d'être recouvert de sédiments. Ce qui n'a pas empêché sa momification, contrairement à ce que pensaient les paléontologues...

HADROSAURE

On redécouvre l'importance de ces momies longtemps ignorées, ou même détruites

aleb Brown n'en revient toujours pas. « On dirait qu'il va se mettre à bouger! » Ce paléontologue du Royal Tyrrell Museum d'Alberta, au Canada, a la chance d'étudier la plus incroyable momie de dinosaure. Cette relique a été découverte par hasard lors d'un forage minier dans le nord de la province en 2011, à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Une fois rapporté au musée, ce nodosaure *Borealopelta markmitchelli* vieux de 110 millions d'années a été dégagé et nettoyé pendant cinq ans, faisant apparaître ses os, sa tête, sa peau, ses cornes, ses écailles, et même ses organes internes. Bien sûr, tout a été minéralisé depuis longtemps. Mais il semble aussi vivant qu'un dragon de *Game of Thrones*. « C'est une momie spectaculaire, s'émerveille le paléontologue. Non seulement elle est exceptionnellement bien préservée, mais l'animal a encore sa forme en trois dimensions. Il ressemble à peu près à ce qu'il était au Crétacé. C'est unique. »

FENÊTRE OUVERTE SUR LE CRÉTACÉ

Certains matériaux biologiques ont même été miraculeusement conservés, plus ou moins chimiquement modifiés. Grâce à des molécules retrouvées dans sa peau, Caleb Brown a pu en déduire sa couleur, et une cassure au niveau de sa cavité abdominale lui a même donné accès à son estomac. Il en a découpé une fine tranche, qu'il a placée sous un microscope : « C'est comme si on avait mis une forêt du Crétacé dans un mixeur! » Il y avait là des cellules végétales de toutes sortes de plantes, mousses, conifères, angiospermes, avalées sous toutes les formes possibles: feuilles, racines, brindilles... « C'est la preuve directe la plus robuste qu'on ait à ce jour du régime d'un dinosaure, atteste le paléontologue. Non seulement on voit ce que cet herbivore mangeait, mais on sait aussi en quelles proportions. » Étape suivante, étudier la biomécanique de son armure : « J'aimerais savoir si les crocs des grands prédateurs de l'époque étaient capables de la percer... »

Depuis quelques années, les chercheurs savent qu'ils ont de véritables trésors entre les mains. Une vingtaine de momies de dinosaures seulement ont été découvertes en un peu plus d'un siècle. Et ces reliques sorties de leur gangue de roche se mettent aujourd'hui à parler, révélant des détails de la vie au Crétacé que l'on pensait totalement hors de portée.

« Cela faisait plusieurs années que je me demandais si les ankylosaures se battaient entre eux », témoigne Victoria Arbour,

du Royal BC Museum de Victoria, au Canada. C'est une autre momie qui vient de lui répondre, celle d'un spécimen de *Zuul crurivastator* vieux de 75 millions d'années, découvert en 2014 dans une mine du Montana, aux États-Unis. Son crâne et sa queue en forme de massue ont émergé de la roche dans un état de conservation exceptionnel. Mais ce sont les pointes cassées de son armure qui ont attiré l'attention de la paléontologue : « Elles sont toutes situées sur ses flancs, exactement là où la queue d'un autre ankylosaure aurait frappé lors d'un duel. » Pour elle, plus de doute : oui, les ankylosaures se battaient bien entre congénères.

Mais l'histoire la plus prometteuse est sans doute celle que raconte une momie d'*Edmontosaurus* de 67 millions d'années, un grand herbivore découvert dans le Dakota en 2000. Stephanie Drumheller, paléontologue à l'université de Tennessee, a identifié des traces de morsures sur ses os et sa peau : « Leur forme montre que c'est un cousin du crocodile qui l'a à moitié dévoré. Mais ce qui m'a sauté aux yeux, c'est que cet hadrosaure a l'air dégonflé, comme un cadavre qui se serait vidé de ses fluides et aurait séché à l'air libre, avant d'être enterré sous des sédiments. Or on a longtemps cru que, pour

qu'il y ait momification, il fallait que l'animal soit recouvert de sédiments immédiatement après sa mort afin de préserver ses tissus de la putréfaction et des charognards. La momification serait donc sans doute un processus beaucoup plus courant. » Et les momies de dinosaures plus nombreuses qu'on ne le pensait.

RALENTISSEZ ET REGARDEZ !

Pourquoi alors, en un peu plus d'un siècle, les paléontologues en ont-ils trouvé si peu ? « Parce qu'il ne s'agit souvent que de quelques morceaux de peau pris dans les sédiments, et donc difficiles à identifier. Parfois même, certains en ont trouvé, mais n'ont pas compris leur importance et les ont détruits ; ce qu'ils voulaient, c'était étudier le squelette au plus vite! », se désole Stéphanie Drumheller. Et de rappeler aux chercheurs : « Si vous remarquez un changement de couleur ou de texture dans les sédiments autour des os, ralentissez et regardez : c'est peut-être de la peau de dinosaure! »

C'est précisément ce qu'a fait Brian Pickles, paléontologue à l'université de Reading, en 2021. Alors qu'il se promenait avec des volontaires dans le parc Dinosaur de la province d'Alberta, un site sur lequel ont déjà été



Brian Pickles et Caleb Brown devant le fossile d'hadrosaure découvert en 2021.




De la peau apparaît sur sa cheville et sa queue (à dr.).

découverts les restes de soixante espèces de dinosaures, « on a remarqué, quelque chose qui affleurait d'une falaise, raconte-t-il. Et en s'approchant, on a vu qu'il y avait de la peau et des tendons! » Selon lui, l'animal, un jeune hadrosaure, est encore préservé tout entier, avec sa peau, à l'intérieur de la roche. « Nous avons passé l'été dernier à retirer des sédiments et des roches avec mes étudiants. On commence à bien voir sa queue et sa patte arrière, avec quelque chose qui ressemble à un sabot. » Avec l'aide de Caleb Brown, il compte terminer de le dégager l'été prochain, puis le transporter au Royal Tyrrell Museum. « C'est un si beau spécimen qu'il faudra être très minutieux. »

Une nouvelle momie de dinosaure va bientôt parler.

NOS SOURCES

S. Drumheller et al., *Plus One* (2022); V. Arbour et al., *Biology Letters* (2022); C. Brown, et al., *Royal Society Open Science* (2020). Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.



On le connaît bien: le proton, c'est cette petite particule de matière dotée d'une charge positive qui règne au cœur des atomes. Sauf qu'il ne cesse de manifester des comportements étranges, incohérents, inexplicables. Voire, il résiste carrément à la théorie. Plus les physiciens le regardent, moins ils le comprennent!

PAR CLÉMENTINE LAURENS

PROTON

IL EST VRAIMENT BIZARRE

Donné proton! Au premier abord, il paraissait simple: une particule dotée d'une charge positive. L'essence de la matière, découverte il y a plus d'un siècle, nichée au cœur du noyau atomique... Oui, mais voilà, chaque expérience, chaque analyse théorique semble le rendre un peu plus incompréhensible. Quelle est sa taille? D'où vient sa masse? Des questions pourtant simples auxquelles il est impossible de trouver une réponse qui le soit tout autant.

«Le mystère de sa taille n'est toujours pas résolu», soupire Haiyan Gao, physicienne spécialisée dans l'étude expérimentale des protons et des neutrons au laboratoire national de →

Brookhaven, aux États-Unis. «Le proton ne se déforme pas comme on l'attendrait sous l'effet d'un champ électrique!», ont confirmé Nikos Sparveris et son équipe, à l'université Temple. «On n'a aucune idée des raisons pour lesquelles le proton a cette masse», constate Cédric Lorcé, chercheur en physique hadronique à l'École polytechnique. «On n'explique qu'environ 65% de son spin», pointe Dominique Marchand, chercheuse en physique hadronique à l'ILCLab d'Orsay.

TROP OPTIMISMES...

Pourtant, c'est peu dire que la question fait l'objet d'une attention particulière. Non seulement par exigence philosophique – comment accepter une telle zone d'ombre sur un constituant si fondamental de la matière? Mais aussi parce que cette particule est essentielle à bien d'autres sujets de recherche. Un exemple: sa masse, déterminante pour le spectre de l'hydrogène, joue le rôle d'un étalon pour sonder le cosmos, en particulier évaluer cette mystérieuse matière sombre qui pèse sur l'Univers. «Comprendre la structure du proton est également nécessaire pour interpréter toutes les mesures faites au LHC», ajoute Laurent Lellouch, théoricien de la physique des particules au CNRS et à Aix-Marseille Université. Car dans le plus grand collisionneur du monde, c'est en projetant à très grande vitesse des protons les uns contre les autres que l'on entend percer les secrets de la physique des particules.

«Mais si l'on crée une collision entre deux trains remplis de pommes de terre et de tomates, on obtient plein de légumes qui se rentrent dedans, poursuit Laurent Lellouch. Pour décrire le mécanisme, il faut connaître la composition initiale des trains.» Ainsi, la structure du proton joue un rôle crucial dans toutes les mesures de précision, y compris celles qui font débat, comme la masse du boson W dont nous vous parlions il y a un an dans Epsilon #12. «On pourrait penser que la précision incroyable sur cette mesure est due à un certain optimisme concernant la connaissance de la structure du proton», ose-t-il.

MAIS QUELLE TAILLE FAIT-IL ?

Depuis 2010, le débat fait rage. La théorie ne permet pas de prédire la taille du proton –précisément, le diamètre de la zone dans laquelle est contenu l'essentiel de sa charge électrique. Et les mesures expérimentales divergent. D'un côté, les expériences historiques établissent une valeur d'environ 0,88 femtomètre (millionième de milliardième de mètre) en bombardant un proton avec des électrons ou en regardant de façon très précise, à l'aide de lasers, les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène (qui n'est autre qu'un proton avec un électron autour). De l'autre, des expériences plus modernes consistent à mesurer les niveaux d'énergie non plus de l'hydrogène, mais de l'hydrogène muonique. «Vous prenez de l'hydrogène atomique, mais vous éjectez son électron et vous le remplacez par son grand frère, le muon, explique Thomas Udem, chercheur en physique atomique à l'Institut Max-Planck d'optique quantique. Comme il est bien plus lourd, sa sensibilité à la taille du proton est beaucoup plus grande, et les mesures plus précises.» Plus précises certes, mais surtout incompatibles: les expérimentateurs mesurent 0,84 femtomètre, avec une marge d'erreur très faible rendant totalement incohérente la précédente valeur de 0,88 femtomètre! D'où vient cette contradiction? D'un biais systématique qui faussait les mesures historiques? C'est l'une des hypothèses privilégiées par les chercheurs –la plupart des mesures tendent aujourd'hui à confirmer le petit rayon. «Mais le mystère n'est pas pleinement levé», insiste Haiyan Gao, physicienne spécialisée dans l'étude expérimentale des protons et des neutrons au laboratoire national de Brookhaven. Récemment, certaines mesures ont retrouvé des valeurs s'approchant du vieux 0,88 femtomètre...

GETTY IMAGES - SHUTTERSTOCK



MAIS POURQUOI SE DÉFORME-T-IL AINSI ?

C'est la nouvelle crise du proton: il ne se déforme pas comme on l'attendrait sous l'effet d'un champ électrique. L'anomalie, observée pour la première fois il y a une vingtaine d'années, a été confirmée en octobre 2022 par Nikos Sparveris et son équipe, de l'université Temple. «Le principe de notre expérience consiste à bombarder un proton d'électrons pour l'énerger, décrit le physicien. En variant l'énergie et les angles utilisés, on peut mesurer sa propension à se déformer sous l'effet d'un champ électrique.» Problème, d'après les prédictions de la théorie, on s'attend à ce que cette propension à se déformer diminue à mesure que croît l'énergie utilisée pour le bombarder. Autrement dit, à ce que le proton devienne de plus en plus rigide. Or ce n'est pas ce qui est observé: sous le feu des électrons, la polarisabilité décroît, puis remonte, avant de diminuer à nouveau comme le prédit la théorie. Les physiciens sont en train d'en chercher la cause. «Il nous faut des mesures encore plus précises, voire idéalement des méthodes expérimentales différentes», reconnaît Nikos Sparveris.



Sans compter que certains le considèrent comme une des clés permettant de lever l'un des plus grands mystères de la physique: pourquoi n'y a-t-il presque que de la matière dans l'Univers, alors qu'au départ, il devait y avoir autant d'antimatière? «Une explication serait une petite différence de masse entre proton et antiproton», avance Stefan Ulmer, physicien à l'université Heinrich-Heine de Düsseldorf et au laboratoire Riken au Japon.

ÉTATS ÉSOTÉRIQUES

Sauf que plus ils plongent, plus les physiciens dévoilent la complexité du proton. «Il est bien plus compliqué qu'une particule élémentaire, pose Laurent Lellouch. C'est un objet très complexe, qu'on n'a pas totalement

fini de comprendre.» Et pour cause, cette particule n'est pas élémentaire. Ça, les physiciens le savent depuis les années 1960 et une expérience menée par Jerome Friedman et Henry Kendall: le proton est constitué de quarks. Trois, plus précisément, deux quarks «up» et un «down», attachés les uns aux autres par une force appelée interaction forte... Laquelle est portée par des particules sans masse et sans charge électrique, les gluons. OK, mais il existe une théorie qui devrait normalement décrire tout ce petit monde: elle est posée depuis 1973, elle s'appelle «chromodynamique quantique» – QCD, disent les physiciens. Et elle a largement fait ses preuves pour prédire les propriétés des particules composites. C'est d'ailleurs sur cette base que se calculent toutes les réactions produites dans les accélérateurs de particules...

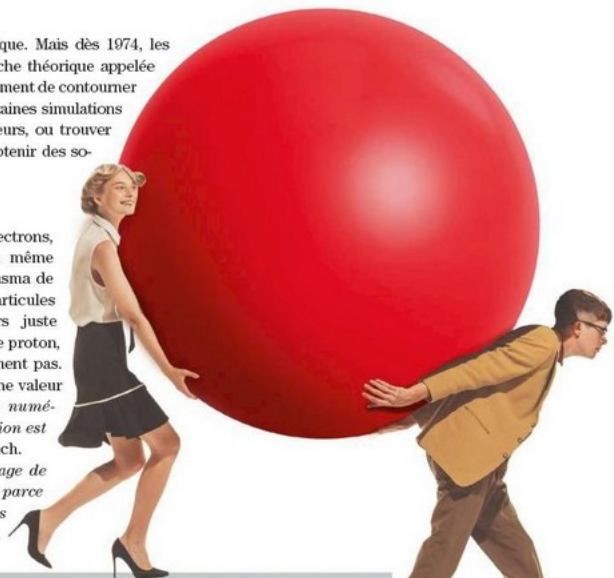
Alors certes, cette théorie est une gageure: il s'agit d'équations non-linéaires extrêmement difficiles à résoudre, considérées comme plus complexes que celles de Navier-Stokes, qui régissent la mécanique des fluides et sont aujourd'hui encore

un modèle de complexité mathématique. Mais dès 1974, les théoriciens ont développé une approche théorique appelée « QCD sur réseau » qui permet normalement de contourner cette difficulté pour mener à bien certaines simulations numériques à l'aide de supercalculateurs, ou trouver des astuces analytiques destinées à obtenir des solutions approchées.

MER DE QUARKS

Cela marche pour décrire les électrons, jusqu'aux plus fins paramètres; ou même des états aussi ésotériques que le plasma de quarks et gluons, cette soupe de particules électrisées qui constituait l'Univers juste après le big bang. Mais pour décrire le proton, les méthodes classiques ne fonctionnent pas. Par exemple, impossible de donner une valeur théorique de sa taille: « Des calculs numériques ont été faits, mais leur précision est insuffisante », regrette Laurent Lellouch.

« On ne peut pas partir d'une image de quarks et de gluons indépendants, parce qu'il y a beaucoup trop d'échanges d'énergie, constate Cédric Lorcé.



MAIS D'OÙ VIENT SA MASSE ?

On sait la mesurer: le proton pèse environ $1,67 \times 10^{-27}$ kg. Mais un mystère entoure cette valeur, constate le physicien Cédric Lorcé: « On ne sait pas expliquer théoriquement ce nombre. Pourquoi le proton a-t-il cette échelle de masse et pas une autre? » La particule étant composée de trois quarks, on s'attend à ce que sa masse soit la somme des leurs... « Mais si on s'en tient à cette image, on est très loin du compte! », s'exclame le théoricien Laurent Lellouch. À peine 1% de la masse du proton... Même en ajoutant celle des paires de quarks et d'antiquarks qui ne cessent de fluctuer dans la particule, les calculs amènent au mieux à 10%! « L'essentiel de la masse provient de l'énergie des quarks et des gluons, et de leurs interactions », reprend le chercheur. Et si cette énergie d'interaction est perçue comme une masse, c'est en raison de la célèbre relation $E=mc^2$. C'est ce que ses collaborateurs et lui ont confirmé en 2008, en résolvant numériquement les équations de la chromodynamique quantique à l'aide de supercalculateurs. D'autres équipes ont validé dans la foulée ce résultat. Conceptuellement, le mystère est résolu: « On sait aujourd'hui quelle est la fraction de la masse qui vient des différents constituants, résume Cédric Lorcé. Mais il y a encore des travaux expérimentaux et d'analyse à mener, tout un formalisme à poser, avec des désaccords qui persistent sur certains points. » Et surtout, cette interrogation bien loin d'être tranchée: pourquoi cette échelle de masse ?



MAIS COMMENT TOURNE-T-IL SUR LUI-MÊME ?

Il est établi depuis longtemps que le spin du proton, ce nombre quantique qui caractérise le moment angulaire intrinsèque d'une particule – en somme: sa propension à tourner – vaut $\frac{1}{2}$. Mais comme pour la masse, on souhaiterait comprendre comment les différents constituants de cette particule lui confèrent cette valeur. Inutile d'espérer retrouver ce $\frac{1}{2}$ simplement en faisant la somme du spin des quarks qui le constituent. « À la fin des années 1980, la première expérience qui a tenté de mesurer le spin porté par les quarks a eu lieu au CERN, relate

Laurent Lellouch. Ils ont alors trouvé que les quarks contribuaient au spin du proton à hauteur de 12%... Plus ou moins 16 points! » Autrement dit, l'expérience concluait qu'il était possible que les quarks n'y contribuent pas. Vent de panique dans la communauté physique. Certes, les mesures ont depuis été améliorées: il a été démontré que les quarks contribuent au spin du proton à hauteur d'environ 25%, et 40% pour les gluons. Mais quid des 35% restants? C'est bien la question. « Les physiciens pensent qu'ils pourraient provenir du moment angulaire orbital:

une propriété liée au fait que les quarks et les gluons tourneraient autour d'un axe », évoque Laurent Lellouch. Mais il manque une preuve expérimentale. « C'est très compliqué à mettre en évidence, souligne Dominique Marchand, chercheuse en physique hadronique à l'IJCLab à Orsay. Il faut combiner plusieurs mesures en jouant sur différentes variables pour pouvoir extraire les informations recherchées. Un important programme est mené pour cela par des collaborations internationales au laboratoire Thomas-Jefferson qui abrite un accélérateur d'électrons. »

« Quand on est dans des systèmes où les interactions entre composants sont extrêmement faibles, on peut construire un modèle en considérant une collection de particules libres qui s'échangent de temps en temps énergie et impulsion. Mais avec le proton, c'est impossible. »

ENTRER À L'INTÉRIEUR

« L'image moderne du proton est bien plus compliquée qu'une combinaison de trois quarks », ajoute Laurent Lellouch. Car quarks et gluons baignent en réalité dans toute une mer de quarks et d'antiquarks qui se forment et s'annihilent en permanence, « comme des bulles dans une casserole d'eau qui chauffe », illustre Paul Reimer, physicien expérimental au laboratoire national d'Argonne, aux États-Unis, spécialiste des protons et neutrons. Par certains aspects, la physique de cette petite boule ressemble à celle des étoiles à neutrons – car la pression interne dans le proton est gigantesque, du même ordre que celle que

l'on trouve au cœur de ces astres. En somme, c'est comme si toute la complexité du modèle standard de la physique des particules, qui décrit l'Univers, logeait dans le proton. « Idéalement, on aimerait obtenir une description complète de sa structure à l'aide des interactions entre quarks et gluons en son sein, rêve Nancy Paul, chercheuse en physique quantique au laboratoire Kastler Brossel de l'ENS. Mais on n'a pas encore ça. »

La théorie échoue. Reste l'expérience: bombarder les protons avec des électrons toujours plus fort, toujours plus finement pour tenter d'entrer à l'intérieur. Ou les cibler avec des ions, comme cette machine très attendue, spécialement dédiée à l'étude de l'interaction forte – sa construction se prépare à Brookhaven et elle devrait être achevée en 2034. Ou les sonder carrément avec des photons, des particules de lumière. C'est ce que vient de faire une équipe du laboratoire national d'Argonne. Sous ce feu lumineux, le proton apparaît comme une boule de gluons compacte, entourée d'une charge de quarks qui déborde. Un résultat à vérifier, à confirmer... Le proton est terrible.

NOS SOURCES

B. Duran et al., *Nature* (2023); H. Gao et al., *Reviews of Modern Physics* (2022); A. D. Brandt et al., *Physical Review Letters* (2022); R. Li et al., *Nature* (2022). Retrouvez toutes nos sources sur epsilononline.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.

La folie des grandeurs



The Line, ville-tour de 170 km de long, et The Mukaab, cité de 400 m³, vont bientôt sortir de terre en Arabie saoudite. Ailleurs, la Madrid Nuevo Norte culminera à 330 m, One Bangkok à 436 m... Est-ce bien raisonnable?

PAR EMMANUELLE PICAUD, AVEC MURTEL VALIN

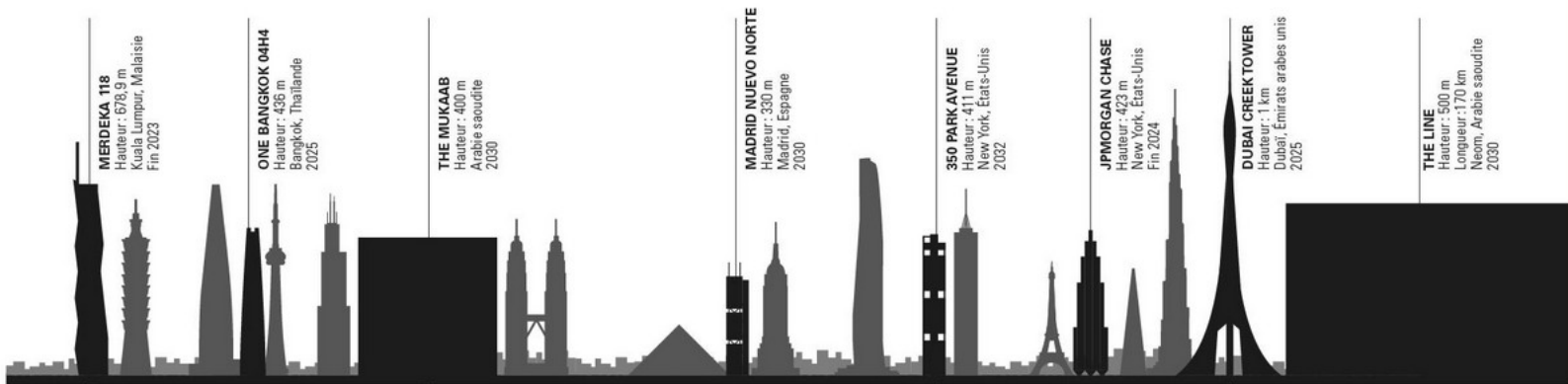
WESAM

O

n a cru que cela allait s'arrêter. Que le Covid avait stoppé net la construction de ces pyramides modernes, pour des raisons logistiques, financières, écologiques... À l'image de la tour de Djeddah, en Arabie saoudite – 1 km de haut –, dont le chantier lancé en 2013 prend la poussière. Mais non. Depuis un an, les projets de tours repartent de plus belle. Avec de nouveaux arguments de vente : un « triple vitrage » pour JPMorgan Chase, à New York ; des « façades qui pourraient devenir des réservoirs d'énergie thermique », pour la Madrid Nuevo Norte ; « 100% d'énergie renouvelable » pour The Line, en Arabie saoudite, tour couchée de 170 km de long ; ou un « concept de durabilité » pour The Mukaab, un cube de 400 m³... Même la France a ses grands projets : Link (242 m) lancée en 2021 à la Défense ; les tours Duo (120 et 180 m) juste achevées à Paris, To-Lyon (171 m).

OBJECTIF VERT

La plupart mettent bel et bien en œuvre des technos visant à limiter l'impact énergétique : algorithmes pour optimiser les flux d'énergie, capteurs de présence pour limiter l'éclairage et le chauffage, ventilation à double flux, panneaux photovoltaïques dernier cri... Et les résultats sont là : « En quelques dizaines d'années, les dépenses énergétiques dans les tours ont été divisées par quatre », constate



Jérôme Quievreux, architecte en charge de la rénovation de la tour First de la Défense. Certains concepteurs testent aussi des matériaux alternatifs. Christophe Charon a ainsi livré en 2021, à Bordeaux, une tour à l'ossature en bois. « Recourir à ce matériau est aujourd'hui possible pour la grande hauteur, avec une limite souvent fixée à 50 m, à cause des risques d'incendie », détaille-t-il. D'autres revendiquent même des buildings à énergie positive, comme Elithis, à Dijon, à la forme ovoïde qui minimise la prise au vent, recouverte d'un rideau en bois qui isole et module la lumière.

Sauf que le bilan de ces édifices verts s'avère souvent décevant. Elithis doit encore se fournir en énergie, même si ses performances

restent meilleures que nombre de ses concurrentes – 11 W/m² en énergie primaire, contre 80 à 100 pour une tour nouvelle génération à la Défense. Le bois montre aussi ses limites : « Plus léger que le béton, il oblige, selon l'architecte, à augmenter la taille des éléments structuraux, avec un impact sur l'empreinte écologique. »

Au-delà de ces cas particuliers, des modélisations commencent à évaluer l'efficacité énergétique des tours en tenant compte de leur phase de construction. Les résultats sont sans ambiguïté. Et confirme le premier verdict posé dès 2016 par Rolf André Bohne, chercheur en génie civil à l'université norvégienne des sciences et technologies : si l'on tient compte de tous les indicateurs (gaz

à effet de serre, énergie, déchets...), le bâtiment idéal n'est finalement pas très grand. Il ne fait qu'environ 12 étages, soit 36 m de haut. « Ce qui demande de couler beaucoup de béton en dehors des façades, c'est la dalle de fondation et le toit. Ajouter des étages permet de mutualiser cet effort, détaille le chercheur. Mais au-delà de 20 étages, vous perdez cet avantage : vous avez besoin de murs plus solides, de fondations plus profondes, de plus d'ascenseurs... »

LA DEBANDA - SHUTTERSTOCK - PUBLIC INVESTMENT FUND

BOOK - DAMAR

Aydin Shishegaran, de l'université de Weimar, qui s'est aussi penché sur le sujet en 2022, va dans le même sens. « *Le bâtiment le plus économe ferait 17 étages* », soit 51 m de haut. Les modélisations commencent même à prendre en compte le lieu de construction, « *la température ambiante, l'hygrométrie, la luminosité...* », liste Guillaume Dethan, directeur général du cabinet d'études Inex. Ces 51 m d'Aydin Shishegaran s'appliquent ainsi à l'Iran ; les 36 m de Rolf André Bohne ont été calculés pour Paris ; tandis qu'à Oslo, l'idéal serait une tour de 45 m.

264 000 PERSONNES/KM²

En calculant, en 2021, les émissions de carbone sur l'ensemble du cycle de vie de bâtiments de densités et de hauteurs différentes, une équipe de l'université d'Édimbourg a brossé un panorama global : les villes de forte densité et de faible hauteur sont plus respectueuses de l'environnement que celles avec des gratte-ciel.

Le passage de l'un à l'autre entraînerait même une augmentation de 142% des émissions de carbone. « *Il reste important de tenir compte de l'ensemble des consommations, sans quoi les calculs se révèlent biaisés* », précise Olivier Sidler, consultant en énergétique.

Bien sûr, certains de ces modèles restent à affiner : « *Pour approcher de façon plus réaliste le bilan carbone des tours, il faudrait tenir compte de l'empreinte foncière, des infrastructures routières, des réseaux... Un gratte-ciel ne se compare pas à un bâtiment unique, mais à un morceau de territoire. Par exemple, une tour de 225 m de haut équivaut à 9 bâtiments de 25 m de haut* », prévient l'urbaniste et ingénieur Franck Boutté. Même chose quand il s'agit d'évaluer la lutte contre l'artificialisation des sols, argument massue des promoteurs du vertige vertical. L'urbaniste de l'École des Ponts ParisTech Vincent Vignié ne mâche d'ailleurs pas ses mots. « *Lorsqu'on parle de densité, on doit réfléchir à l'échelle d'un quartier. Les grands ensembles de tours sont entourés d'espaces verts, et donc parfois moins denses que les maisons. Celui de la Courneuve a une densité de 750 habitants/km², on est à 800 à Ris-Orangis... Quand un habitat haussmannien obtient une densité de 4 000.* »

Certes, en termes de densité, la ville-building The Line promet de battre tous les records : avec ses 200 m de large, 170 km de long, 500 m de haut, elle abriterait à terme 264 000 personnes/km² – soit 6 fois la densité de Manille, l'une des plus élevées du monde. Mais cela ne suffira pas à la rendre efficace énergétiquement, ne serait-ce que pour des raisons de transport de matériaux...

LE BIEN-ÊTRE

On ne connaît pas l'impact sur la santé

Vivre perché dans une tour de verre crée-t-il de l'anxiété ? Une perte ou une augmentation de la créativité ? Une déconnexion de l'environnement ? Ces questions ont beau avoir été scrutées par des équipes d'urbanistes, de médecins, de sociologues, aucune réponse claire ne se dégage. Les échantillons restent trop réduits et les experts échouent à démêler les multiples paramètres qui entrent en jeu. Même l'effet du balancement léger des très hautes structures sur le corps n'a pas encore été quantifié : ce « syndrome de Sophie », une sorte de mal des transports, est soupçonné de provoquer une somnolence – et pourrait nuire à la productivité... Une équipe de l'université de Bath, en Angleterre, travaille en ce moment sur le sujet, avec un simulateur. Ses conclusions devraient paraître dans les mois qui viennent.

Impossible d'ailleurs de mener une véritable analyse énergétique, car l'entreprise Neom, qui pilote le projet, ne diffuse aucun détail – malgré nos sollicitations répétées. Idem pour la ville cubique The Mukaab, qui devrait accueillir plus de 100 000 logements sur 25 millions de m². Pour la plupart des experts, ces deux méga-gratte-ciel devraient néanmoins rencontrer des problèmes bien plus importants que leurs cousins longilignes. « *Leur bilan énergétique risque d'être mauvais, ne serait-ce que parce que leur épaisseur ne permettra pas de profiter de la lumière du jour* », pointe Jérôme Quievreux.

Jean-Paul Viguier, architecte de plusieurs tours, le reconnaît : « *Construire haut offre une forme de prestige. Nous sommes fascinés par les défis technologiques des tours. Cela flatte l'ego.* » Reste à l'assumer clairement, qu'ils soient couchés ou dressés, cubiques ou rhomboédriques, les plus grands gratte-ciel auront donc du mal à se verdier.



LE VIEILLISSEMENT

La technique commence à relever le défi

« *Les tours se révèlent plus solides que les immeubles classiques car elles sont construites pour résister à beaucoup d'aléas*, explique Jérôme Quievreux. En France, par exemple, elles prennent en compte le risque sismique même quand elles n'y sont pas exposées. » Il n'empêche, les murs extérieurs, le toit, les systèmes électriques et mécaniques, la plomberie... finissent un jour par devoir être remplacés. Et alors, c'est un vrai défi. « *La logistique est très lourde pour éviter de tout démonter sur de si grandes hauteurs* », prévient Peter Weistmantle, spécialiste américain des tours. Une des pistes explorées : conserver le squelette et rénover uniquement les façades, toits et intérieurs, comme c'est le cas pour la tour Pleyel, à Saint-Denis. « *Avec les robots actuels, on peut aller très loin dans la déconstruction-reconstruction sur des espaces confinés* », ajoute Jérôme Quievreux.

Madrid Nuevo Norte

LA BIODIVERSITÉ

Les façades végétalisées ne suffisent pas

Longtemps gris béton ou bleu verre, les gratte-ciel se parent désormais de toits et de façades végétalisés. Les concepteurs annoncent de multiples avantages : lutte contre les îlots de chaleur, amélioration de la qualité de l'air, séquestration du carbone, développement de la biodiversité – en plus de l'esthétisme. Sauf que cela nécessite des systèmes d'irrigation qui peuvent, selon les régions, se révéler très gourmands en eau. En outre, plusieurs études montrent que si la végétalisation des façades améliore le confort pour des surchauffes modérées, elle ne semble pas protéger des hausses de températures trop importantes – comme cela peut être le cas pour les tours. Sans parler des projets mal contrôlés comme en Chine, où l'invasion de moustiques a fait fuir les habitants de tours à Chengdu en 2020 !

NOS SOURCES

Francesco Pompori et al., *Nature* (2021); M. K. Nematshou et al., *International Journal of Environmental Science and Technology* (2022); Aydin Shishegaran et al., *Sustainable Materials and Technologies*. (2022) Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/ sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.



L'incroyable histoire des hippopotames de Pablo Escobar

Le célèbre narcotraffiquant avait adopté quatre de ces pachydermes africains. Trente ans après sa mort, ils sont plus d'une centaine à patauger dans les rivières de Colombie, où ils prolifèrent sans entraves. Une invasion qui divise le pays et les scientifiques.

PAR VINCENT NOUYRIGAT

Au début, il n'y avait qu'un mâle et trois femelles *Hippopotamus amphibius*, achetés en 1981 à un zoo américain par le célèbre baron de la drogue pour compléter son extravagante collection d'animaux exotiques. Ces quatre pachydermes devaient couler des jours tranquilles dans un étang aménagé de la luxueuse Hacienda Nápoles, au fond de la Colombie. Mais tout a basculé à la mort du narcotraffiquant, en 1993. Devant l'impossibilité de les transférer ailleurs, ces bestiaux de largement plus d'une tonne ont été délaissés. Les « hippos de la cocaïne » en ont alors profité pour s'échapper de leur enclos, puis proliférer dans la campagne sud-américaine... Au point que le dernier recensement fait état de près de 140 spécimens à l'état sauvage. Vous trouvez ça drôle? Peut-être, sauf que cette singulière histoire d'invasion biologique –version poids lourd– déchire en ce moment autant la société colombienne que la communauté scientifique.

UN PARADIS TROPICAL

« Ces animaux ont rencontré dans notre région des conditions encore plus favorables que celles de leur habitat naturel, en Afrique », constate David Echeverri Lopez, de l'agence de protection de l'environnement du département d'Antioquia. De fait, ces herbivores amphibies ne pouvaient pas rêver mieux que le bassin-versant du fleuve Magdalena, qui jouxte la propriété de feu Pablo Escobar, avec ses riches pâturages, ses innombrables rivières, →



« Il y a là tous les éléments d'une invasion hors de contrôle »

Germán Jiménez,
biologiste à l'université Javeriana, à Bogotá

canaux, marais, lacs naturels ou artificiels. Le paradis ! Les pluies sont presque toujours abondantes dans cette région au climat tropical. « Dans la savane africaine, ce sont les fortes sécheresses qui régulent les populations d'hippopotames, alors que dans notre pays les plans d'eau ne disparaissent pas, explique Jorge Moreno-Bernal, chercheur à l'université du Nord, en Colombie. En plus, ici, il n'y a pas de meutes de prédateurs ni de

maladies transmises par les antilopes ou les buffles... » Ce magnifique pays d'Amérique du Sud leur offre tout un espace vierge à conquérir au fil de l'eau – un individu a été repéré récemment à plus de 370 km de l'Hacienda Nápoles. « À la différence des écosystèmes africains, il n'y a pas de compétition intense et sanglante entre les mâles pour défendre leur territoire », fait remarquer Nataly Castelblanco-Martínez, écologue à l'université de Quintana Roo, au Mexique. Résultat : la mortalité des hippopotames colombiens est quasi nulle ; ils se reproduisent beaucoup plus tôt qu'en Afrique et à une fréquence encore plus soutenue, presque chaque année.

BIENTÔT DES HIPPOS EN EUROPE ?

« Pour quoi pas ! Ces animaux vivaient bien sur tout le continent européen durant le Pléistocène », lance Jens-Christian Svenning, chercheur à l'université d'Aarhus, au Danemark. Avec d'autres scientifiques, ce pionnier du réensauvagement envisage sérieusement d'introduire dans nos contrées des espèces équivalentes aux méga-herbivores éteints depuis le dernier âge glaciaire. À commencer par l'éléphant d'Asie, qui pourrait remplir les fonctions écosystémiques de l'éléphant à défenses droites (*Palaeoloxodon antiquus*) trop tôt disparu ; quoi de mieux qu'un pachyderme pour contrôler l'extension de la forêt tout en dispersant les graines ? Bien sûr, cela concernerait des zones rurales avec une faible densité de population et peu d'activités agricoles : « Ce ne sera pas plus difficile de cohabiter avec eux ici qu'en Inde ou au Kenya », veut croire Jens-Christian Svenning.

BOMBE PACHYDERMIQUE

« Nos simulations prévoient une augmentation exponentielle de la population, il y a là tous les éléments d'une invasion hors de contrôle », s'alarme Germán Jiménez, biologiste à l'université Javeriana, à Bogotá. Les modèles prédisent ainsi qu'il y aura plus de 1400 hippopotames à la fin des années 2030, certains tablent même sur 5 000 au milieu du siècle. Une bombe pachydermique...

Pis, à la faveur du réchauffement climatique et de l'évolution du régime des pluies intenses, l'ensemble du nord de la Colombie sera bientôt propice aux hippos – en dessous de 1 500 m d'altitude.

Or les autorités locales ne sont jamais parvenues à juguler leur reproduction. « Les opérations chirurgicales de

castration se sont avérées très difficiles, dangereuses et coûteuses, confie David Echeverri Lopez. Ces animaux vivent le plus souvent immergés et on ne parvient pas à distinguer les mâles des femelles, leurs organes génitaux ne sont pas visibles en dehors du corps. » À ce jour, seuls treize jeunes ont pu être stérilisés, ce qui paraît dérisoire ; le programme de contraception s'avère aussi laborieux. Le gouvernement colombien n'a eu d'autre choix que de classer officiellement, en mars 2022, les hippopotames comme une « espèce invasive » – la plus grosse du monde.

NOTOUNGULATA, LAMA GÉANT...

Mais est-ce si grave ? À entendre les biologistes du cru, il y a vraiment tout à craindre de ces monstres exotiques. Car ces méga-herbivores risquent de chambouler l'équilibre chimique des lacs à force de déféquer massivement dans l'eau les restes de végétaux engloutis toute la nuit sur la terre ferme, à raison de plus de 700 kg de carbone et nutriments expulsés chaque année individuellement.

Leur démarche ultra-pesante pourrait aussi déstabiliser toute la faune et la flore natives, en compactant les sédiments et en créant des canaux entre des plans d'eau jusqu'ici isolés. Tandis que leur appétit féroce pour les plantes aquatiques pourrait priver de refuge les alevins

au Danemark. Et leurs piétinements, en approfondissant les bassins, bénéficient aux populations de poissons. » L'icône delta de l'Okavango, par exemple, doit beaucoup aux hippos. « Je suis d'accord, ils sont très utiles pour les écosystèmes africains, sujets aux sécheresses... Mais pas pour la Colombie !, rétorque Nataly Castelblanco-Martínez. Là-bas, toutes les autres espèces se sont adaptées à la présence des hippopotames, elles ont coévolué. Pas ici. Je suis persuadée que cela va créer un désastre écologique. » Un avis partagé par beaucoup de ses confrères colombiens, scientifiques de la conservation ; au passage, ils contestent aussi l'idée que cette population sud-américaine, à faible diversité génétique, soit capable d'offrir une sécurité pour cette espèce classée comme vulnérable en Afrique.

Mais d'autres écologues avancent que ces créatures venues d'ailleurs pourraient rétablir certaines fonctions perdues par ces écosystèmes lors de l'extinction de mastodontes ancestraux, comme les lamas géants ou les mystérieux Notoungulata... « L'Amérique du Sud possédait une mégafaune incroyablement diversifiée qui a persisté jusqu'à l'arrivée de l'humain, probablement à l'origine de son extermination il y a à peu près 10 000 ans, souligne Erick Lundgren, chercheur à l'université d'État

« Les gens ne veulent pas envisager les bénéfices des espèces non-natives »

Elizabeth Le Roux,
écologue à l'université d'Aarhus, au Danemark

de poissons et fragiliser les précieux lamantins. Bref : leur simple présence risque de modifier profondément l'écosystème local.

Pour l'heure, une seule étude a relevé que les plans d'eau où barbotent des hippopotames étaient un peu plus dominés par les cyanobactéries, susceptibles de conduire à l'asphyxie d'un lac. « C'est encore difficile de juger leur effet car le fleuve Magdalena est exposé à beaucoup de stress liés aux activités humaines et aux autres espèces invasives, telles que la jacinthe d'eau ou le poisson-chat asiatique », tempère Jorge Salgado, de l'University College de Londres. « En Afrique, ils assurent des fonctions très importantes en stimulant la productivité des rivières, notamment la croissance du phytoplancton, défend Elizabeth Le Roux, écologue à l'université d'Aarhus,

d'Arizona. La plupart des espèces végétales et animales modernes ont évolué il y a environ 2 millions d'années, ce qui signifie qu'elles sont certainement encore adaptées à la présence de méga-herbivores. Les hippopotames sont susceptibles de jouer ce rôle, à leur manière. » Une approche purement fonctionnelle que défendent les partisans du réensauvagement. « Beaucoup de gens ne veulent pas envisager les bénéfices potentiels des espèces non-natives, nous sommes trop habitués à les considérer comme inacceptables », déplore Elizabeth Le Roux.

Ce discours ne convainc pas du tout Nataly Castelblanco-Martínez : « Nous n'avons pas besoin d'hippopotames ici, il y a déjà les espèces nécessaires pour remplir la niche écologique des méga-herbivores aquatiques ou semi-aquatiques. » « Oui, si vous voulez réhabiliter... »

les fonctions de nos écosystèmes, il suffirait de restaurer les populations locales de capybaras et de lamantins», appuie Jorge Moreno-Bernal. Tous ces chercheurs avancent un dernier argument, assez imparfait : la sécurité des humains, notamment des pêcheurs du coin. En effet, personne ne conteste que les hippopotames sont des animaux territoriaux, potentiellement très dangereux ; les populations africaines sont bien placées pour savoir que leurs coups de mâchoires provoquent

des blessures horribles et que leurs charges furieuses sont souvent mortelles. « Nous avons déjà recensé deux attaques en Colombie », rumine David Echeverri Lopez. Les habitants des rives du fleuve Magdalena semblent pour le moment assez insouciantes et les touristes continuent de se presser pour participer à des pseudo-safaris... Seulement voilà, avertit Nataly Castelblanco-Martínez, « la densité croissante d'hippopotames va rendre les mâles et les femelles plus agressifs, et ces effectifs en hausse vont multiplier les rencontres avec les humains. » « Ils s'en prendront aussi physiquement au bétail, ainsi qu'à la faune locale, caïmans, iguanes, loutres, capybaras, lamantins... », glisse Jorge Moreno-Bernal.

CHASSE AUX TROPHÉES

Face à cette menace, les autorités locales ont annoncé il y a quelques semaines le projet de capturer et transférer soixante-dix hippopotames vers des parcs au Mexique et en Inde – les Équatoriens y rechignent, de peur de connaître la même invasion qu'en Colombie.

« Même si ça se fait, cela ne résoudra pas le problème tant la croissance de la population est importante, grogne encore Jorge Moreno-Bernal. C'est une énième tentative d'utiliser des méthodes inefficaces de stérilisation, contraception, capture, pour éviter de contrarier les activistes du droit animal que notre ministre de l'Environnement rencontre régulièrement. Alors que, pour mettre fin à cette invasion, il n'y a plus d'autre choix que de tuer une partie de ces animaux... » Le mot est lâché par ce chercheur toujours prompt à dénoncer,

comme une partie des biologistes, les effets de la « conservation compassionnelle », qui aurait tendance à privilégier le bien-être animal au détriment de la protection de la biodiversité.

LA JUSTICE S'EN MÊLE

Tuer les hippopotames colombiens ? En 2009, l'abattage d'un mâle menaçant avait déjà provoqué un tollé. Depuis, les associations de défense des animaux du monde entier se sont mobilisées autour de cette cause, et les actions en justice se sont multipliées ; le 15 octobre 2021, un tribunal américain a même reconnu à ces spécimens sud-américains une personnalité juridique.

« Ces hippopotames constituent un cas unique d'espèce invasive car ils sont très charismatiques, les gens s'y sont attachés, observe Alejandra Echeverri, biologiste à l'université Stanford, aux États-Unis. Mais je pense que l'on devrait traiter ce problème de la même manière que celui des chèvres envahissantes

dans les îles Galapagos [massivement éliminées pour protéger les tortues]. Mon idée serait d'organiser en Colombie une grande chasse aux trophées, la viande et la peau des hippopotames abattus pourraient ensuite être exploitées par les habitants de la région. »

Une proposition qui ne manquera pas de mettre le feu au pays et aux réseaux sociaux, de radicaliser encore plus les activistes de tous bords et d'envenimer les débats – au demeurant passionnants – sur les effets réels des espèces invasives, la pertinence de réensauvager le monde, l'influence des émotions humaines en écologie...

Et dire qu'au début ils n'étaient que quatre innocents pachydermes évoluant sous le regard attendri d'un narcotraffiquant...

NOS SOURCES

Jorge Salgado et al., *Limnology and Oceanography Letters* (2022); Nataly Castelblanco-Martínez et al., *Biological Conservation* (2021); Erick Lundgren et al., *PNAS* (2020). Retrouvez toutes nos sources sur epsiloon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.



Leur densité croissante va rendre mâles et femelles plus agressifs

Nataly Castelblanco-Martínez, écologue à l'université de Quintana Roo, au Mexique



POP SCIENCE



MAI 2023

« LA CRÉATIVITÉ, C'EST L'INTELLIGENCE QUI S'AMUSE »

ALBERT EINSTEIN
(probablement apocryphe)

SOMMAIRE

85
FUN FACTS
Étoile, poussins, homme de Denisova, monstre du Loch Ness, aurores boréales, Hongrois, papillons de nuit, bulles, mégafusée...

88
CULTURE SCIENCE
Cerveau augmenté (humanité diminuée ?), une BD pour sortir du flux

90
PROJETS X
Des tentes qui jouent les néphars ; la tour qui engloutit les poussières ; le cargo qui se plie sous les ponts...

94
INSTANT GEEK
Piano, ballon, stylo et smartphone.

96
LIFE
Petit coin de ciel bleu, goût des chips, croire aux fantômes, rester humble, danser le tango...

Il y a un bébé étoile tout près du trou noir de la Voie lactée



The Astrophysical Journal, février 2023

X3a, c'est son nom, est 10 fois plus grosse que le Soleil, et âgée de 40 000 ans. Elle se situe à une année-lumière de Sagittarius A*, dans un endroit que l'on imagine relativement hostile : la masse de notre trou noir, équivalent à 4 millions de masses solaires, a en effet tendance à exciter gaz et poussières,

déclenchant de violentes vagues de rayons X, d'ultraviolets... Pour naître, X3a s'est sans doute enroulée dans un nuage de poussières et de gaz situé un peu plus loin. « On trouve de plus en plus de jeunes étoiles près de Sagittarius A* », précise Yann Clénet, qui a participé à l'étude au Lesia, à l'Observatoire de Paris. Mais celle-ci est vraiment très, très jeune. » M.F.

Les poussins sont attirés par les objets qui montent

Biology Letters, février 2023

L'expérience montre qu'à peine sortis de l'œuf, ils se dirigent spontanément vers le point rouge qui défile vers le haut sur un écran blanc, snobant celui qui descend sur l'écran placé en face. Les chercheurs veulent maintenant vérifier si les bébés humains partagent bien cette attraction innée pour les mouvements contraires à la gravité, propres aux êtres animés. F.C.



SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES

L'homme de Denisova aimait les odeurs sucrées

Science, décembre 2022

En tout cas plus que les autres spécimens du genre *Homo*, à savoir Neandertal et nous, *Sapiens*. C'est ce que révèle la comparaison scrupuleuse des gènes de nos trois espèces. Denisova possédait en effet des récepteurs olfactifs qui le rendaient plus sensible aux molécules que l'on trouve dans le miel ou dans la vanille. « Sur les 400 que nous

possédons, nous avons trouvé seulement 5 récepteurs olfactifs qui diffèrent », note finalement Claire de March, coautrice de l'étude à l'Institut de chimie des substances naturelles du CNRS. De quoi en déduire que Denisova et Neandertal percevaient la même palette d'arômes que nous, mais pas toujours avec la même sensibilité. Et qu'il n'avait pas forcément le nez

plus fin. Neandertal était par exemple insensible aux odeurs des aliments en décomposition. « On voit bien quel avantage il y a à sentir qu'un aliment est impropre, ou au contraire qu'il contient des nutriments, reprend la chercheuse. Ces évolutions ont probablement pu aider les humains à s'adapter à de nouveaux environnements. » P.-Y.B.



Non, le monstre du loch Ness n'est pas une anguille géante

BioRxiv, février 2023

Des prélèvements ADN réalisés en 2019 avaient déjà évacué l'hypothèse d'un reptile marin venu du fond des âges, celle d'un requin ou d'un poisson d'envergure. Le lac écossais regorge certes de milliers d'anguilles, mais une étude statistique des prises de pêche évalue à une chance sur 50 000 qu'un de ces spécimens atteigne la taille – somme toute modeste – d'un mètre. Et elle est presque nulle pour un monstre de 6 mètres. Une autre idée ? v.n.

16 ans

C'est l'âge du plus vieux hérissant du monde, découvert au Danemark. Sachant que leur espérance de vie est normalement d'à peine 3 ans.

Sur les lunes de Jupiter, les aurores boréales sont rouges

Observées au télescope sur les quatre plus grands satellites, elles seraient visibles à l'œil nu depuis leur surface. Ces drapés rutilants naîtraient de l'interaction entre l'oxygène de leurs fines atmosphères et le puissant champ magnétique de la géante gazeuse. J.-B.V.



Les papillons de nuit volent deux fois moins vite que les oiseaux

Physical Review Physics, septembre 2022

18 km/h grand maximum pour le sphynx... ce qui n'est vraiment pas terrible au vu de sa masse. Son vol a été filmé avec une caméra à haute vitesse, puis modélisé en 3D en intégrant les forces qui s'appliquent sur les ailes, ainsi que la puissance nécessaire pour se maintenir en l'air. Or, les ailes du sphynx se révèlent beaucoup plus rigides que celles des oiseaux : à chaque battement vers le haut, elles poussent l'insecte vers le bas. Et cela empire dramatiquement au fur et à mesure que la vitesse augmente. H.P.

Les Milanais n'ont pas grandi depuis 2000 ans

C'est l'étrange constat qui ressort de l'analyse de 549 squelettes. Les considérables changements de conditions de vie depuis l'époque romaine n'auraient donc eu aucun impact sur la croissance des Milanais. v.n.

136

C'est, en dB, l'intensité sonore mesurée au décollage de la mégafusée SLS le 16 novembre dernier... à 1,5 km du pas de tir.

SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES

10 000

C'est le nombre de fois où des médecins chiliens ont réussi à faire rebondir une bulle

Les Hongrois sont très amoureux

Nature, janvier 2023

Les Malaisiens, les Portugais et les Américains aussi, beaucoup plus que les Ougandais et les Coréens du Sud. Et non, la France ne fait pas partie de cette étude, « l'une des plus insaisissables à ce jour, portant sur les différences interculturelles des expériences amoureuses », assurent les auteurs. 5305 femmes et 4169 hommes ont été interrogés à travers 45 pays sur l'intensité de l'intimité, de la passion et de l'engagement dans leur couple. En croisant les réponses avec les indices de modernisation, ils ont constaté que la relation est longue, plus stable et la passion sont faibles et l'engagement élevé dans les pays collectivistes favorisant l'intimité et l'engagement n'influe pas sur la passion. Et que si les habitants des pays plus industrialisés ressentent ce couple de l'amour à des niveaux plus élevés, cela s'inscrivent au-dessus d'un certain seuil de modernisation. H.P.

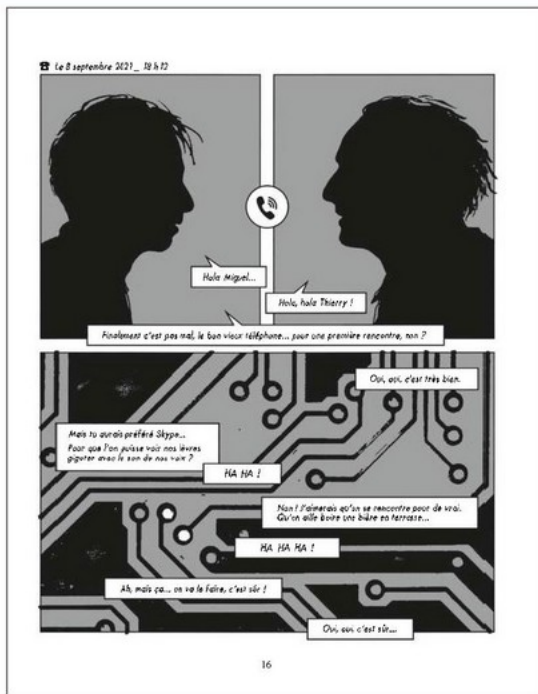


Homme augmenté (humanité diminuée ?) Sortir du flux

En adaptant un essai consacré à l'impact des algorithmes sur notre cerveau, cette bande dessinée met en scène le processus même de la pensée, grâce aux techniques du neuvième art.

« Quand on m'a proposé l'idée, je ne voyais pas trop à quoi ça pourrait ressembler », avoue Miguel Benasayag, philosophe et clinicien, qui a publié en 2016 l'essai à l'origine de cet album, le premier d'une nouvelle collection qui vise à adapter en bande dessinée des livres de la « Bibliothèque des sciences humaines et sociales ». Cet essai analysait l'effet sur notre cerveau des algorithmes qui gouvernent les écrans des réseaux. Et démontait patiemment une dangereuse idée en vogue chez les informaticiens californiens qui ont fondé la révolution du numérique : non, écrit Miguel Benasayag, « le cerveau ne produit pas de la pensée comme une machine algorithmique produit du calcul, ou comme la vésicule biliaire produit de la bile. Tout le corps pense. »

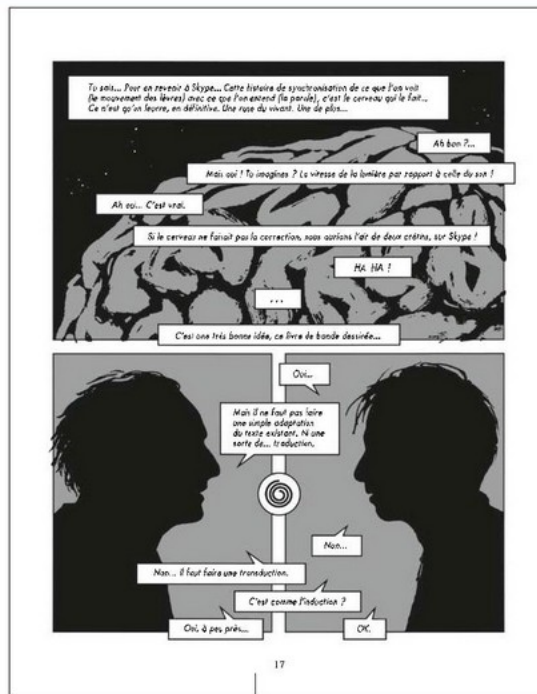
Une alerte qu'il juge toujours d'actualité : « Je ne suis pas technophobe, mais on ne peut pas ne pas se rendre compte que l'on n'arrive pas à maîtriser notre promiscuité avec le monde algorithmique. Et que cela conduit à un appauvrissement du cerveau. » L'éditeur a lancé le défi à Thierry Murat, auteur de BD. « Je ne voulais pas faire une adaptation, mais raconter une histoire, mon histoire : celle de Thierry Murat qui, pendant l'année 2022, décide de rencontrer Miguel et de lire son livre. J'ai commencé sans avoir de plan, en improvisant, comme un journal de bord, en avançant dans la lecture, chapitre après chapitre, et en intégrant sans avoir de événements qui ont scandé l'actualité : la guerre en Ukraine, l'incendie dans les Landes, à côté de chez moi, l'arrivée de ChatGPT... Et il a bien



fallu s'arrêter : j'étais arrivé au bout du livre de Miguel. » Le récit graphique est fidèle à l'essai d'origine : il décrit comment le cerveau dans des flux extérieurs. Mais Thierry Murat exploite les techniques du neuvième art pour laisser les pensées du lecteur se focaliser, ralentir, divaguer. Une liberté intrinsèque à la BD : « L'auteur propose une succession d'images avec un discours, mais cette alchimie

devient autre chose dans la tête du lecteur. » Qui n'est plus, alors, un opérateur désincarné qui fait circuler l'information devant l'écran : il la produit, avec tout son corps – « le livre se prend en main, on touche les pages, on revient en arrière... » « J'ai été agréablement surpris, avoue Miguel Benasayag. La BD permet de s'arrêter, de s'interroger devant une image, parfois juste un mot. »

ENTRETIEN DÉCOUVERT



LIVRE
CERVEAUX AUGMENTÉS (HUMANITÉ DIMINUÉE ?)

De Miguel Benasayag et Thierry Murat
Éditions La découverte-Delcourt
184 pages, 24,95 €

Entre les cases, l'imaginaire

« Les idées visuelles enfermées dans des cases ne sont rien avant de prendre corps dans les mains du lecteur, écrit Thierry Murat. Libre à lui d'en faire des points d'exclamation, d'interrogation ou de suspension. Après tout, le cerveau construit un monde... » La BD est l'art de l'ellipse : c'est au lecteur de remplir par la pensée les vides blancs entre les cases.

AGENDA



ÉVÉNEMENT

L'Odyssée sonore

Des images géantes de la mythologie et un casque HD sur les oreilles, dans un lieu superbe.

Du 1^{er} mai au 23 décembre
Théâtre antique d'Orange, 45 mn, 22 €

LIVRE

Marie Curie à la plage

Avant l'été, une immersion très accessible dans son univers, par un spécialiste de physique fondamentale.

En librairie le 3 mai
Par Marco Zito, éditions Dunod,
192 pages, 15,90 €

LIVRE

La Naissance du savoir

Quel est l'état d'esprit qui fait le chercheur ? Un neuroscientifique pense-t-il différemment d'un cosmologue ? La réponse en 17 entretiens très humains.

En librairie le 4 mai
Par Nicolas Martin, éditions Les Arènes, 400 pages, 24,90 €

EXPOSITION

Urgence climatique

Un nouvel espace permanent consacré au défi climatique, avec tout un dispositif de datavisualisation. Conférence et balade sur le réensauvagement dès le 13 mai.

À partir du 16 mai
À la Cité des sciences et de l'industrie, à Paris, tous les jours sauf le lundi, 12 €

DOCUMENTAIRE

Planète préhistorique

C'est parti pour une deuxième saison sur les dernières découvertes autour des dinos. Les premières images sont stupéfiantes de réalistes.

Sur AppleTV+ à partir du 22 mai
Une production BBC avec Jon Favreau



MANTA RAYS

Des tentes qui jouent les nénuphars

Aérien. Ce village flottant a été imaginé par l'architecte belge Vincent Callebaut pour l'île de Bali. Il s'est inspiré de la forme mouvante de la raie manta pour dessiner cette structure en bambou couverte d'une toile de jute. Le résultat : des formes courbes, légères, mais aussi résistantes aux intempéries, contrairement à des matériaux de toiture plus classiques. En fonction de ses besoins touristiques, Bali pourrait monter et démonter aisément ces sortes de Meccano géants.





La tour qui engloutit les poussières

ABSORBENT SANDSTORM SKYSCRAPER

Alors que les villes des Émirats arabes unis sont balayées chaque printemps et chaque été par des tempêtes de sable, les architectes de Kalbod Studio ont imaginé une sorte d'aspirateur géant pour nettoyer l'air : des tours à l'intérieur desquelles deux grandes bouches aspireraient les grains de sable grâce à un champ magnétique. Déployées en réseau, elles accueilleraient également logements et laboratoires de recherche...

Le cargo qui se plie sous les ponts

NEOLINER

136 m de long ; deux mâts mobiles en carbone de 76 m ; 3000 m² de voiles solides qui se plient et se déplient en accordéon... Ce navire modulable qui serait capable de s'adapter à toutes les configurations de transport a été imaginé par une équipe de la marine marchande. Son moteur diesel-électrique n'interviendrait qu'en complément. L'objectif est de réduire d'au moins 80 % ses émissions de gaz à effet de serre.



Imprimer en 3D avec des bactéries

Et s'il suffisait d'ajouter des bactéries à un gel d'impression 3D pour produire un matériau plus résistant ? C'est l'idée d'une équipe de physiciens du laboratoire de la matière molle de l'École polytechnique fédérale de Lausanne. « Des bactéries *Sporosarcina pasteurii* réagissent dans une solution contenant de l'urée et minéralisent le gel en carbonate de calcium en quatre jours seulement », détaille Esther Amstad, qui dirige l'équipe. Résultat, une fois sec : un matériau composé à 93% de calcite, capable de résister à des pressions jusqu'à 3,5 mégapascals – soit 100 fois plus dur qu'un polymère classique ! Restauration d'œuvres d'art, création de coraux artificiels... sont les applications immédiates de ce matériau biophysique. « Nous travaillons aussi au développement de ce type de gel pour reconstruire des os, livre Esther Amstad. Mais pas question d'injecter des bactéries dans le corps : nous devons donc trouver une autre source pour la minéralisation, comme des enzymes... » A.P.



Un piano qui sonne avec des drones !

C'est un vrai délire d'ingénieurs et de musiciens qui ont choisi de travailler ensemble. L'entreprise japonaise d'instruments de musique Roland a voulu fêter ses 50 ans en imaginant le piano du futur. Le résultat est un étrange clavier numérique aux formes rondes, tout en bois, dont l'originalité tient aussi et surtout à son acoustique : pour faire résonner le son tout autour de l'instrument, des haut-parleurs sont en effet embarqués à bord de petits drones qui se répartissent dans l'espace et diffusent le son en direct à 360°. Le défi, reconnaît volontiers l'entreprise, est de réussir à récupérer et propager ce son sans latence tout en minimisant le bruit des pales des drones. Les ingénieurs y travaillent...

Soaring Sound, prix non communiqué.



LE POURQUOI
ON N'Y A PAS
PENSÉ AVANT ?



Les couverts
comestibles

« Il existe des couverts en bois mais le plus souvent, ils sont râpeux en bouche et viennent du bout du monde », observe Tiphaine Guerout, cofondatrice de l'entreprise française Koovee. Sachant que chaque année 4,7 milliards de cuillères en plastique sont jetées en France et qu'elles mettront plusieurs siècles à se dégrader, elle a eu l'idée de fabriquer des fourchettes et cuillères que l'on mange à la fin du repas. « Toute la difficulté a été de trouver le procédé et le traitement de la pâte pour qu'ils soient à la fois bons, résistants dans un plat ou un liquide chaud ou froid, et peu caloriques. » L'entreprise a fini par trouver une recette à base de farine de blé, huile de colza et sel : un biscuit qui peut être salé ou sucré, moulé dans la forme d'un couvert. Vegan, il est vendu en vrac ou emballé dans un sachet en papier. Le couteau, lui, arrivera dans les prochaines semaines...

Un nouveau genre de ballon de basket

Il a le poids, la taille et le rebond d'un ballon normal. Mais ce prototype a été imprimé en 3D avec des minitrous hexagonaux pour laisser passer l'air. Et n'a donc pas besoin d'être gonflé. C'est Wilson, le fabricant officiel de ballons de la NBA, qui s'est amusé à repenser complètement son produit phare, pour en améliorer la durabilité. À la place du cuir, du caoutchouc ou du plastique, cette boule est faite en poudre de polymères chauffée et agglomérée avec un laser de forte puissance. Pas d'homologation en vue, mais des premiers tests ont été menés avec succès par le joueur Kenyon Martin, des Houston Rockets, sur un vrai terrain de basket.

Wilson Airless, prix non communiqué.



Le smartphone qui se recharge en 9 min et 30 s

L'architecture des puces a été totalement repensée, un système de refroidissement liquide a été ajouté et un câble de 12 ampères l'accompagne pour transmettre le courant le plus élevé de l'industrie... Ce téléphone mis au point par l'entreprise chinoise Realme atteint une recharge totale en moins de 10 min, un record mondial de vitesse.

Realme GT3, à partir de 600 €.

Le stylo lévitant

« Le format papier est plus inspirant pour partager une idée qu'un ordinateur. C'est en partant de là que j'ai voulu revisiter un objet simple pour redonner aux gens l'envie d'écrire », raconte le physicien taiwanais David Liang. Dans la main, il se comporte comme un stylo normal, mais une fois posé sur son socle, il reste suspendu, comme en apesanteur, grâce à un alliage de métaux et des forces magnétiques qui s'équilibrent. On peut même s'amuser à le faire pivoter, comme une toupie. « Il a fallu plusieurs mois et de longues nuits blanches de calculs pour délimiter cette structure avec une précision de l'ordre du dixième de millimètre et sans aucun composant électronique. » Un gadget aérien...

Hoverpen, 130 € environ.



La danse, c'est plus fort que le sport

Journal of Aging and Physical Activity, sous presse

↙ C'est meilleur pour le cerveau, en particulier quand on est âgé : la danse améliore l'équilibre, la mobilité et certaines capacités cognitives. Des études avaient déjà pointé les effets positifs de la valse ou du tango, mais en les comparant avec des activités douces, comme les étirements. Cette fois, c'est avec le sport que la danse a été comparée

directement. Des neurologues américaines ont formé deux groupes de personnes âgées, d'en moyenne 76 ans, chacun avec son programme : tapis roulant ou danse deux fois par semaine pendant six mois. Si, au début de l'étude, tous montraient quelques petits signes de déclin cognitif, à la fin, ils s'améliorèrent dans les fonctions exécutives : planification, raisonnement,

attention... Et les danseurs affichaient de meilleurs scores, notamment en vitesse d'exécution. Leur hippo-campe, région qu'Alzheimer fait rétrécir, se portait mieux. La danse mobiliserait, selon les chercheurs, à la fois le physique, le social et le cognitif — nécessité d'interagir avec son partenaire, d'apprendre les pas... Trop bien !

Un petit coin de ciel bleu suffit à nous rendre créatif

Journal of Environmental Psychology, décembre 2022

Ça marche aussi avec une vue sur un parc. Ce n'est pas seulement bon pour l'humeur, cela stimule l'imagination. 55 personnes se sont prêtées au test : celles qui pouvaient voir un peu de nature par la fenêtre étaient capables de lister 12% d'usages en plus pour les objets placés devant elles, par rapport à celles sans vue sur l'extérieur. Même si la lumière éclairait la pièce, tamisée par des stores. Le superpouvoir de la nature.



SHUTTERSTOCK

Nous parlons vraiment très gentiment aux chiens

Scientific Reports, janvier 2023

La preuve : les maîtres s'adressent à eux de la même façon qu'à leurs bébés... Vingt-deux familles hongroises ont été mises à contribution pour cette étude : les parents ont été filmés alors qu'ils jouaient à la balle ou récitaient une comptine avec leur enfant, avec leur chien et avec la chercheuse...

Le verdict est sans appel : sourcils levés, bouche en rond, grands sourires, yeux surpris... six expressions faciales sont particulièrement réservées à la communication avec les bébés et avec les chiens. Mais si elles sont tout de même légèrement moins accentuées lorsqu'elles sont destinées à l'animal. De quoi, selon les chercheurs, communiquer la joie sans parole.

Les chips sont meilleures dans un bol bleu

Food Quality and Preference, novembre 2022

Ou rouge : il augmente alors la perception du goût salé. Mais c'est bien le bol bleu seul qui rend les chips sel-vinaigre testées par des psychologues britanniques plus désirables. Confirmant de précédentes études sur cet étrange effet de la vaisselle bleue. Un effet du code couleurs des paquets auxquels nous sommes habitués ? Notez que ces préférences n'étaient rapportées que par les 50% des mangeurs se déclarant les plus « difficiles ». Question de raffinement ?

Rester humble, ça se travaille

Royal Society Open Science, février 2023

Voilà la première astuce validée scientifiquement pour faire preuve d'humilité intellectuelle, jusque dans les discussions les plus enflammées. C'est très simple : une équipe britannique a montré qu'il suffit, avant un débat, de se poser et de se concentrer quelques minutes sur ses propres valeurs. Nous aurions ainsi toutes les chances de rester ouverts aux arguments d'autrui et tournés vers une recherche authentique de connaissances. Le concept a été validé avec 303 personnes chargées de débattre en petits groupes sur les frais d'inscription à l'université : 60,6% de celles qui s'étaient préalablement livrées au petit exercice de concentration se montraient moins arrogantes, moins focalisées sur la défense à tout prix d'une certaine idée d'elles-mêmes. Ou à l'inverse, moins prêtes à se ranger à l'avis d'autrui pour lui plaire. Un exercice d'affirmation de soi, en quelque sorte.

On croit plus aux fantômes quand on dort mal

Journal of Sleep Research, janvier 2023

Mais aussi aux contacts avec les extraterrestres, à la vie après la mort... Un sondage mené auprès de 8853 Britanniques l'illustre : plus ils dorment mal, peu, ou s'endorment difficilement, plus ils sont convaincus de la réalité des phénomènes paranormaux. Deux problèmes surtout sont pointés : la paralysie du sommeil (un état d'éveil avec incapacité de bouger), qui touche 59,7% des personnes croyant dur comme fer à la vie après la mort. Et le syndrome de la tête qui explose (elles entendent un grand « boum »), chez 62,4% de celles persuadées que les E.T. sont venus sur Terre.





Un festival d'astronomie au sommet du village le plus haut d'Europe
SAINT-VÉRAN
dans les Hautes-Alpes

POUR PETITS ET GRANDS
PASSIONNÉS OU CURIEUX

4^{ÈME} ÉDITION



RENCONTRE en CIEL PUR
Les mille et une planètes
& DIMANCHE 9
LUNDI 10 JUILLET 2023
Tables-rondes · Animations · Observations · Ateliers

« Nous, on crieait dans le désert, beaucoup d'experts ne voulaient pas se poser la question »
Isabelle Moretti, à propos de l'hydrogène blanc p.24

« L'alarmisme constant est à prendre avec des pincettes »
Evan Giret, à propos de TikTok p.58

« Le format papier est plus inspirant pour partager une idée qu'un ordinateur »
David Liang, à propos du stylo lévitant p.95

« Nous faisons face à un événement compliqué »
Agnes Ducharme, à propos de la sûcheresse p.32

« Construire haut offre une forme de prestige. Cela flatte l'ego »
Jean-Paul Viguière, à propos des gratte-ciel p.78

« Ça a duré à peine deux minutes. Un léger voile rouge est passé d'est en ouest derrière le Mont-Saint-Michel »
Mathieu Rivrin, à propos de l'aurore boréale p.20

« C'est comme si on avait mis une forêt du Crétacé dans un mixeur »
Caleb Brown, à propos des momies de dinosaures p.66

« Nous avons démontré qu'on est capable de produire un impact sur un objet de 150 m de diamètre »
Patrick Michel, à propos de la mission Dart p.15

« Si l'on crée une collision entre deux trains remplis de pommes de terre et de tomates, on obtient plein de légumes qui se rentrent dedans »
Laurent Leflouch, à propos du proton p.70

« Les succès de la génétique et de la génomique nous ont aveuglés: nous ne comprenons pas le cancer en restant le nez collé aux mutations »
Robert Gatenby, à propos du cancer p.45

« On trouve de plus en plus de jeunes étoiles près de Sagittarius A* »
Yann Clénet, à propos d'un bébé étoile p.85

« Je suis d'accord, ils sont très utiles pour les écosystèmes africains... Mais pas pour la Colombie ! »
Nataly Castelblanco-Martinez, à propos des hippopotames p.83

• Les 93 scientifiques interrogés par la rédaction pour ce numéro

- | | | | | | | | |
|--|--|--|---|---|--|---|--|
| Ethier Anstard
Spécialiste de comètes des astéroïdes, Suisse | Jean-Pascal Coupé
Biologiste cellulaire, Universités de Zurich, Suisse | Stephane Dromboulle
Paléontologue, États-Unis | Stéphane Ghisetti
Géographe, Montpellier | Cécile Leroy
Physicienne théoricienne, Poitiers | Nancy Paul
Physicienne théoricienne, Paris | Barbara Sherwood-Lollar
Géochimiste, Canada | Stefan Ulmer
Physicien expérimentateur, Allemagne |
| Nelson Azevedo
Biologiste, Brésil | Jaume Carbonell
Physicien théoricien, Paris | Agnes Ducharme
Chimiste organique et polymères, Paris | Andreas Giedinghagen
Physicien, Göttinge | Eric Lundgren
Physicien des particules, Göttinge | Brian Pickles
Paléontologue, Royaume-Uni | Aylin Shihagarian
Ingénieur, Allemagne | Vincent Vignié
Spécialiste en astrophysique, Royaume-Uni |
| Victoria Anbar
Paléontologue, Canada | Nataly Castelblanco-Martinez
Biologiste, Belgique | Aljona Chokhachava
Biologiste, Belgique | Yann Clénet
Expert en information et sciences cognitives, Nancy | Patrick Michel
Planète des astéroïdes, États-Unis | Arny Pletyavski
Paléontologue des astéroïdes, États-Unis | David Sidler
Géophysicien, Vienne | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |
| Robert Berman
Paléontologue, France | Christophe Charon
Astronome, Paris | Guillaume Gallet
Géophysicien des astéroïdes, États-Unis | Robert Lustig
Endocrinologue pédiatrique, États-Unis | Alain Prinzhofer
Biologiste, France | Irene Pinyu
Endocrinologue pédiatrique, Royaume-Uni | Carlos Samanin
Biologiste, États-Unis | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |
| David Liang
Physicien, Chine | Jing Chen
Psychologue, Chine | Stéphane Grouhaud
Géophysicien de la biosphère, Lyon | Dominique Marchand
Biologiste expérimentateur, Paris | Anthony Masero
Géochimiste en deserts, Suisse | Janine Pohl
Physicienne expérimentatrice, Paris | Anna Saito
Biologiste, États-Unis | Mark Vincent
Physicien expérimentateur, Canada |
| Francis Boute
Télévision, France | Yann Clénet
Expert en information et sciences cognitives, Nancy | Stéphane Grouhaud
Géophysicien de la biosphère, Lyon | Anthony Masero
Géochimiste en deserts, Suisse | Michael Rich
Astronome, Royaume-Uni | Patrick Michel
Planète des astéroïdes, États-Unis | Wolfgang Schwarz
Physicien, Allemagne | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |
| Caleb Brown
Paléontologue, Canada | Yann Clénet
Expert en information et sciences cognitives, Nancy | Stéphane Grouhaud
Géophysicien de la biosphère, Lyon | Anthony Masero
Géochimiste en deserts, Suisse | Julian Nicotri
Géophysicien, Colombie | Patrick Michel
Planète des astéroïdes, États-Unis | Wolfgang Schwarz
Physicien, Allemagne | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |
| Paul Davies
Physicien théoricien, États-Unis | Yann Clénet
Expert en information et sciences cognitives, Nancy | Stéphane Grouhaud
Géophysicien de la biosphère, Lyon | Anthony Masero
Géochimiste en deserts, Suisse | Julian Nicotri
Géophysicien, Colombie | Patrick Michel
Planète des astéroïdes, États-Unis | Wolfgang Schwarz
Physicien, Allemagne | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |
| Robert Berman
Paléontologue, France | Yann Clénet
Expert en information et sciences cognitives, Nancy | Stéphane Grouhaud
Géophysicien de la biosphère, Lyon | Anthony Masero
Géochimiste en deserts, Suisse | Julian Nicotri
Géophysicien, Colombie | Patrick Michel
Planète des astéroïdes, États-Unis | Wolfgang Schwarz
Physicien, Allemagne | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |
| Kimberly Besseny
Géochimiste, États-Unis | Yann Clénet
Expert en information et sciences cognitives, Nancy | Stéphane Grouhaud
Géophysicien de la biosphère, Lyon | Anthony Masero
Géochimiste en deserts, Suisse | Julian Nicotri
Géophysicien, Colombie | Patrick Michel
Planète des astéroïdes, États-Unis | Wolfgang Schwarz
Physicien, Allemagne | Arny van den Broek
Jean-Paul Viguière |

Cette année encore, le festival promet d'être une grande réussite avec sa programmation de haut niveau sur les exoplanètes. Saint-Véran abrite aussi la maison du Soleil, qui mérite le détour pour en apprendre plus sur la fascinante étoile qui a permis la vie sur notre planète



Antoine Strugarek
Astrophysicien au CEA



Toute la programmation sur
LEQUEYRAS.COM

- PROGRAMME -
DÈS 10H JUSQU'À LA TOMBÉE DE LA NUIT

Observation du ciel au télescope

Planétarium

Animations pédagogiques et ludiques

Visite libre et gratuite de la Maison du Soleil

2 TABLES RONDES
animées par **Mathieu VIDARD**

D'où viennent les planètes ?
Notre système solaire est-il exceptionnel ?

21 oct 22

27 août 23

NOUS
SOMES
TOUTES
ENFONCÉS

Musée des
confluences
LYON



GRANDLYON
LE MÉTROPOLE

LIVING
WATER
RIVERS

LE PROGRES

3
auvergne
rhône-alpes

LE FIGARO
MAGAZINE

