

SEP M  
TOP  
ventes  
★

# SCIENCE & VIE

Depuis 1913

N° 1275 DÉCEMBRE 2023

**NOTRE FOIE EST TROP GRAS!**  
1 FRANÇAIS SUR 5 TOUCHÉ

**EMPATHIE À L'ÉCOLE**  
PEUT-ELLE VRAIMENT  
S'APPRENDRE ?



LE SYSTÈME SOLAIRE,  
DANS QUELQUES MILLIARDS D'ANNÉES...

# COMMENT TOUT FINIRA

UN NOUVEAU SCÉNARIO DE LA FIN DU MONDE

NOTRE SÉRIE

**MISSION 23**  
STOCKER  
L'ÉLECTRICITÉ  
À GRANDE  
ÉCHELLE

**LIGNÉE HUMAINE**  
SES ORIGINES SERAIENT  
AUSSI EUROPÉENNES

**APHANTASIE**  
LE MYSTÈRE DE LA  
PENSÉE SANS IMAGES

L 19055 - 1275 - F: 4,90 € - RD



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

Nouvelle Volkswagen

# ID.7

100% électrique.

Grande autonomie.<sup>(1)</sup>  
Recharge rapide.<sup>(2)</sup>  
Sièges massants et ventilés.<sup>(3)</sup>

**A** 0 g CO<sub>2</sub>/km

B

C

D

E

F

G

(1) Jusqu'à 620 km d'autonomie maximale WLTP de la Nouvelle ID.7 Pro 77 kWh. L'autonomie dépend de nombreux paramètres comme le type de route, le style de conduite, la vitesse, le nombre de passagers, la charge totale ou encore la température extérieure. Plus d'informations auprès de votre partenaire. (2) Avec une capacité de charge allant jusqu'à 170 kW en courant continu, la batterie de l'ID.7 Pro 77 kWh peut être chargée de 10 à 80% en 30 minutes. La capacité de recharge peut varier en fonction de nombreux paramètres extérieurs dont le type de borne de recharge utilisée. (3) En option.

Cycles mixtes de la gamme ID.7 (kWh/100 km) WLTP 14,1-19,2. Rejets de CO<sub>2</sub> (g/km) WLTP : 0 (en phase de roulage). Valeurs au 07/09/2023, susceptibles d'évolution. Plus d'informations auprès de votre Partenaire.

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

Pensez à covoiturer



Un supplément  
de liberté.



#SeDéplacerMoinsPolluer

# Installer une borne de recharge en toute confiance ? On s'en charge.

ENGIE Home Services vous accompagne pour l'installation de votre borne de recharge à domicile, c'est simple, rapide et sécurisé<sup>(1)</sup>.

Plus d'infos sur [mobiliteverte.engie.fr](https://mobiliteverte.engie.fr)

J'agis  
avec  
**ENGIE**  
Home Services



**ENGIE**  
Home Services

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

(1) Offre disponible pour les particuliers résidant dans une maison individuelle. Voir conditions sur [mobiliteverte.engie.fr](https://mobiliteverte.engie.fr)

ENGIE HOME SERVICES, SAS AU CAPITAL DE 1 121 232€, SIÈGE SOCIAL : 1 PLACE SAMUEL DE CHAMPLAIN 92400 COURBEVOIE, RCS NANTERRE 301 340 584. © Étienne Pons.



Benoît Rey  
brey@reworldmedia.com

## Même le futur a une fin

Comment le Système solaire va-t-il finir ? Quel sera le fin mot de l'histoire ? Drôle de question pour les astrophysiciens, qui ont plutôt l'habitude d'expliquer le présent en observant le passé... Quelques-uns, pourtant, ont extrapolé les lois de la physique à l'avenir lointain, à des époques si reculées qu'elles dépassent l'entendement humain. Ces scientifiques sont parvenus à vaincre le chaos inhérent aux lois de la nature, faisant obstacle à toute tentative de prédiction. Et ils nous ont raconté ce qu'ils ont vu. Voici le futur glaçant, mais fascinant, qui se dessine dans leur boule de cristal.



Hugo Leroux  
hleroux@reworldmedia.com

## Foie gras... humain

La consommation excessive de sucres pourrait bientôt remplacer celle de l'alcool comme première cause de cirrhose ! Comme moi lorsque je l'ai eue sous le nez, vous êtes peut-être surpris par cette information. Et pourtant : la maladie du foie gras, dont on peut être porteur sans même s'en rendre compte, touche de plus en plus de personnes. Plongez dans notre enquête, et apprenez-en davantage sur ces conséquences trop méconnues de la malbouffe et de la sédentarité. Et sur les pistes pour les faire reculer...



notre réd' chef adjoint

Thomas Delozier  
tdelozier@  
reworldmedia.com

## L'ÉDITO

*"Il y a de la poésie", nous a soufflé un chercheur en parlant de la fin de notre Système solaire, de la mort de notre Soleil, de la disparition de la Terre. Au début, cette phrase nous a surpris – elle est assurément provocante... Puis, en y revenant, nous l'avons aussi ressentie, cette beauté. La fin de notre monde, dans des milliards d'années, ne sera pas de notre fait, et elle est inéluctable – elle frappe l'esprit comme une vanité du XVII<sup>e</sup> siècle. Face à l'ultime souffle de notre planète, et de notre étoile, nous voilà même incapables d'imaginer quoi que ce soit, comme touchés d'aphantasie. Alors, telle a été notre mission, ce mois-ci, à *Science & Vie* : raconter l'inconcevable, représenter l'inimaginable. Et laissez-nous vous *spoiler* : c'est un spectacle époustouflant qui s'annonce, truffé de rebondissements. Cette histoire ferait passer les productions hollywoodiennes pour de vulgaires séries B. Et l'on se dit qu'on serait presque chanceux de la voir de nos propres yeux, cette fin. Avant d'arriver jusque-là, l'humain aura sûrement bien d'autres défis à surmonter.*

T. Delozier

# Sommaire

Décembre 2023 n°1275

## 08 Forum

### L'actu des sciences

- 16 **En image**  
"Pourpre": le parchemin carbonisé d'Herculanum livre son premier mot
- 20 **Grand angle**  
L'entraide entre plantes voisines se précise; oui, les trous noirs tournent bien!...
- 26 **3 découvertes sur...**  
les techniques de peinture de Léonard de Vinci
- 32 **Data**  
Voici toutes les cellules du corps humain
- 34 **Focus**  
On a observé comment s'allume un cœur
- 36 **Et ça nous fait du bien!**  
Notre sélection d'actus qui font sourire



### Science & société

- 38 **ENQUÊTE**  
**Maladie du foie gras: l'épidémie invisible**
- 46 **Data**  
Les cours d'eau sont des usines à méthane
- 48 **L'étrange affaire...**  
des cercles de fées à travers le monde
- 50 **Retour sur image**  
Le jour où la France a déployé des éoliennes flottantes
- 52 **Entretien croisé**  
Le technosolutionnisme est-il une voie sans issue?
- 54 **Tendance**  
L'empathie peut-elle vraiment s'apprendre à l'école?
- 58 **Les clés pour comprendre...**  
l'A69, autoroute de la discorde
- 60 **Carte blanche**  
L'archéologue Ludovic Slimak
- 62 **Futur**  
La nature sera au cœur des musées; les ailes des avions auront des haubans; les baskets seront évolutives...
- 68 **Il y a pile...**  
100 ans, 50 ans, 25 ans dans *Science & Vie*



SHUTTERSTOCK/SIRISAK BAOKAEW - COUST/ABC/ANDIA.FR - SHUTTERSTOCK - ARNAUD FINISTRE/HANS LUCAS VIA AFP - SPL/ALAMY STOCK PHOTO/HÉMIS. COUVERTURE: SHUTTERSTOCK

SCIENCE&VIE

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



## À la une

70

## Comment tout finira

De modélisations en équations, les chercheurs ont élaboré un nouveau scénario de la fin du Système solaire. Rendez-vous dans quelques milliards d'années.

## Les dossiers

- 90 **Neurologie**  
Plongée dans le non-imaginaire
- 96 **Géologie**  
Zealandia : le continent englouti enfin cartographié
- 102 **ÉNERGIE**  
**Mission : stocker l'électricité issue du renouvelable**
- 108 **Paléo-anthropologie**  
Lignée humaine : et si tout avait commencé en Europe ?

## C'est dans nos vies

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

SCIENCE & VIE 40 avenue Aristide Briand, CS 10024, 92227 Bagneux Cedex. Tél.: 01 46 48 48 48 - Fax: 01 46 48 48 67. E-mail : svmens@reworldmedia.com. Recevez Science & Vie chez vous. Vos bulletins d'abonnement se trouvent pp.88-89. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par internet sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).

Ce numéro comporte, sur tout ou partie de sa diffusion, tous posés sur la 4<sup>e</sup> de couverture : un tout-en-un Psychologies TT1 ; une enveloppe WWF ; un dépliant multtitres Noël ATR ; un dépliant multtitres Noël ADL ; une enveloppe First Voyages ; une enveloppe Les Restos du cœur ; un encart Reworld Media Douro 2024.



## QUID DU MICROBIOME ?

Bravo pour ce passionnant article sur les différences hommes/femmes (n° 1274, p. 66). Mais je m'étonne de ne pas voir mentionnées les différences fondamentales de composition du microbiome intestinal en rapport avec le genre. Ce microbiome est particulièrement sensible aux sécrétions hormonales et, en retour, agit sur ce taux d'hormones avec un risque accru de cancers oestrogéno-dépendants. Par ailleurs, les différences

de composition de ce microbiome modifient les métabolites sécrétés, avec une influence sur des pathologies inflammatoires ou auto-immunes!

*Dr Jean-Marc Bohbot, président de l'Académie du microbiote urogénital*

**S&V** Nous manquons de place... Merci de nous faire revenir sur le sujet! Les différences du microbiome entre hommes et femmes sont en effet importantes à l'âge adulte.

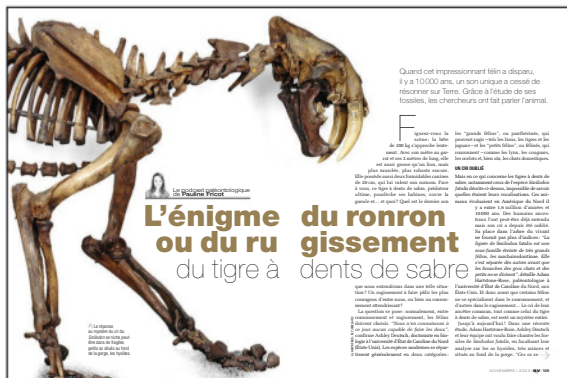


D'où une variabilité dans la sensibilité aux maladies et aux traitements (tels les antibiotiques). En retour, le microbiote peut influencer l'état hormonal en synthétisant des précurseurs ou des

agonistes de certaines hormones. Et une fois de plus, par-delà la génétique et les hormones, les écarts de mode de vie entre hommes et femmes jouent aussi un rôle, difficile à quantifier.

L'homme a donc une incidence plus élevée que la femme à avoir un cancer de la prostate. . . La Palice aurait apprécié!

*Pierre Ernoult, internet (à propos du n° 1274, p. 72)*



## “MIAOU” ET “SSHHH” ANCESTRAUX

Les tigres à dents de sabre auraient donc plutôt ronronné que rugi (n° 1274, p. 104), soit. Cependant, ce ne sont pas les seuls cris dont sont capables les félins! Miaulaient-ils? Ou encore feulaient-ils?

**S&V** Impossible à dire! Si l'évolution de certaines formations osseuses donne des indices sur la présence (ou non) de vocalisations particulières chez une espèce fossile –comme les os hyoïdes et le ronronnement–, la plupart des cris dépendent de tissus mous, qui ne se conservent

*Manu Fauque, Avignon (84)*



## “Désorientées” : vraiment ?

Dans la brève “Zoomathématiques” (n° 1270, p. 8), vous citez une expérience de 2008 au cours de laquelle des chercheurs ont allongé ou raccourci les pattes de fourmis du Sahara. Celles-ci en auraient alors été “désorientées” : elles évaluaient mal les distances. Bon. Mais je dois vous avouer que si –un matin– je me réveillais cul-de-jatte, je serais désorienté, moi aussi ! Cette “expérience” me fait penser à une histoire : un chercheur dresse une puce pour qu’elle saute lorsqu’il lui en donne l’ordre. Puis, il lui coupe les pattes. Il ordonne à nouveau à la puce de sauter... et elle s’en révèle incapable. Conclusion du chercheur : lorsqu’on coupe les pattes d’une puce, elle devient sourde !

André Legrand, Bièèvre (Belgique)

pas. Comme le feulement et le miaulement... La phylogénie ne nous avance pas plus : “Si le ronronnement et le miaulement ont commencé avec la diversification des petits félins, alors cela s’est produit il y a 6 à 9,5 millions d’années. Mais il serait infondé scientifiquement de supposer que ces comportements sont nés à ce moment-là, note

Adam Hartstone-Rose, paléontologue et contributeur à l’étude sur les vocalisations du prédateur. Enfin, les termes “miaulement”, “feulement”, “ronronnement” ou “rugissement” n’ont, d’après le chercheur, jamais été décrits scientifiquement –difficile, donc, d’enquêter. Mais de prochaines recherches s’y attelleront peut-être...



# On en reparle



## MATIÈRE D’ASTÉROÏDE : LES PREMIERS RÉSULTATS SONT LÀ

En octobre dernier (n° 1273, p. 90), nous vous racontions l’épopée de la sonde Osiris-Rex de la Nasa, partie prélever de la matière à la surface d’un astéroïde (Bennu) situé à près de 200 millions de km de la Terre. Le 24 septembre, le retour des précieux échantillons s’est déroulé comme prévu, du parachutage à l’ouverture de la capsule dans le laboratoire, en passant par l’hélicitreillage. La quantité de matière prélevée –estimée autour de 250 g– n’a pas été révélée, mais de premières analyses ont déjà été effectuées. Alors, de quoi sont faits les astéroïdes ? D’une quantité particulièrement élevée de carbone, pointent les résultats ! La présence de cet élément n’est pas une surprise : c’est le 4<sup>e</sup> le plus abondant de l’Univers, et Bennu était suspecté d’en contenir –c’est d’ailleurs l’une des raisons pour lesquelles il avait été choisi. “Mais des valeurs très riches, comme celles obtenues, n’étaient pas attendues”, commente Guy Libourel, cosmochimiste à l’université Côte-d’Azur, et responsable de l’analyse des échantillons en France. “Toutefois, ce ne sont que les premières mesures sur une petite quantité de matière. On en saura plus quand ce type d’analyse aura été reproduit sur une plus grande quantité.” C’est pour bientôt : une partie des échantillons sera rapidement dispatchée entre tous les laboratoires partenaires de la planète. **Évrard-Ouicem Eljaouhari**

M. TOME LAIRE



# On en reparle

Science & société

Une diffusion... à l'aide, photos et musique produites par les intelligences artificielles inonde les écrans, suscitant autant de fascination que de crainte. Mais jusqu'à quand pourra-on distinguer ce qui est le fruit d'une production humaine de celle d'un robot? Les experts sont en quête d'une méthode fiable. — [www.cesre.com](#)

**Face aux IA**  
La course au nouveau test de Turing

32% Plus de 1,5 milliard de personnes ont été exposées à des contenus générés par IA en 2023. 23% des utilisateurs ont déclaré avoir été trompés par un contenu généré par IA. 1200 personnes ont été exposées à des contenus générés par IA en 2023.

## ŒUVRES CRÉÉES PAR IA : LES TATOUER NE SUFFIT PAS

La défense n'aura pas tenu longtemps... En octobre dernier (n° 1273, p. 34), nous vous rapportions la course effrénée des chercheurs pour développer une technique identifiant à coup sûr l'auteur d'une œuvre : humain ou non. Face à l'avalanche de contenus créés par l'intelligence artificielle (IA), le besoin d'un tel test de Turing inversé va en effet s'imposer... L'une des solutions offertes par les entreprises d'IA elles-mêmes consiste à "tatouer" l'œuvre, en tordant par exemple la fréquence de certains mots des textes d'une machine, ou de pixels s'il s'agit d'une image, de façon à pouvoir les détecter. Las, les scientifiques supposaient que ces signatures seraient faciles à effacer... et ils avaient raison. Dans une étude prépubliée, une équipe de l'université du Maryland (États-Unis), est venue à bout des tatouages existants en les déformant pour les rendre imperceptibles, ou en les altérant à l'aide d'un autre modèle d'IA afin que les détecteurs actuels les classent mal... Faut-il donc abandonner cette piste ? *"Nous ne disons pas qu'il est impossible de construire un tatouage pleinement robuste, mais notre travail illustre l'impressionnant défi que cela représente"*, souffle Mehrdad Saberi, co-auteur de l'étude. La bataille ne fait que commencer...

Charlotte Mauger

M. TUNELAIRE

## HYDROGÈNE ET RÉCHAUFFEMENT

Vous présentez l'hydrogène comme un élément fort de la transition énergétique (n° 1273, p. 68). Mais sa combustion avec l'oxygène ne libère-t-elle pas de l'eau, elle aussi gaz à effet de serre ? Si la démocratisation de l'hydrogène comme nouveau carburant se réalise, ne risque-t-on pas de faire face aux mêmes problèmes qu'avec le CO<sub>2</sub> ?

Nolan Russier, internet

**S&V** Vous avez raison : la vapeur d'eau est le principal contributeur de l'effet de serre, à 60%. Sauf qu'elle ne joue pas sur le réchauffement, car elle provient massivement du cycle naturel de l'eau. Et l'impact du surplus de vapeur émis par l'homme est négligeable, car la vapeur ne transite que quelques jours dans l'atmosphère... contre environ 100 ans pour le CO<sub>2</sub> !

En revanche, les fuites d'hydrogène dans l'atmosphère contribuent bien au changement climatique... de façon indirecte. Par

une suite de réactions complexes, l'hydrogène peut augmenter la durée de vie de certains gaz à effet de serre, comme le méthane. Il peut aussi s'infiltrer plus haut, au niveau de la stratosphère, et créer à cette altitude de la vapeur d'eau plus durable.

En additionnant ces effets, une équipe du CNRS a calculé que le potentiel de réchauffement global de l'hydrogène est 13 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> à un horizon de 100 ans ! La question est donc : à l'avenir, quelles quantités d'hydrogène sont susceptibles de fuiter dans l'atmosphère ?

L'étude montre que la substitution des combustibles fossiles par de l'hydrogène "vert" obtenu par électrolyse est bénéfique, même en considérant des taux de fuite élevés. Mais si cet hydrogène est "bleu" (c'est-à-dire produit à partir de gaz naturel, avec capture imparfaite de CO<sub>2</sub>), cela réduira considérablement ce bénéfice climatique, en raison des fuites associées de CO<sub>2</sub> et de méthane...

## Erratum

Suzanne Matthieu, sur internet, souligne que si les animaux massifs sont mieux adaptés aux climats froids que les petits, ce n'est pas parce qu'"en grossissant, le rapport du volume sur la surface diminue" (voir n° 1269, p. 8), mais tout le contraire ! Le volume augmente au cube, la surface au carré : le rapport s'accroît, et la chaleur est mieux conservée. Toutes nos excuses pour ce méli-mélo fractionnel. La coupable a été condamnée à réciter l'étude de Carl Bergmann présentant cette loi anatomique devant toute la rédaction – dans le texte allemand original.

# Pour Noël, offrez un forfait mobile à un prix qui, lui, n'est pas près de bouger



Offre soumise à conditions, valable à partir du 16/11/23 en France métropolitaine sur réseaux et mobiles compatibles pour toute nouvelle souscription de la Série Spéciale 120Go 5G sans engagement. 10€ de frais d'activation de la carte SIM.

5G : avec terminal compatible uniquement dans les zones déployées (réseau 5G en cours de déploiement). Débit variable selon les fréquences utilisées. Couverture détaillée et différenciée sur [reseau.orange.fr](https://reseau.orange.fr)

(1) Disponible uniquement en association avec une offre Orange : internet, Open ou 4G Home (dans la limite de 5 forfaits par offre). En cas de résiliation de l'offre à laquelle la Série Spéciale est associée ou en cas de demande de suppression de l'association du forfait avec cette offre, le prix mensuel du forfait sera majoré de 5€ (soit 24,99€/mois).



FOURNISSEUR OFFICIEL



## RENCONTRE ENTRE THOMAS PESQUET ET DES ABONNÉS DE **S&V JUNIOR**

Le 4 octobre dernier, Gersende, Mathilde et Simon, trois abonnés du magazine *Science & Vie Junior*, ont eu des étoiles pleines les yeux au Grand Rex de Paris, lors de la soirée caritative "Rêver sans frontières" organisée par Aviation sans frontières (ASF). La rédaction avait permis à ses lecteurs de gagner leur participation à cette soirée exceptionnelle. Pour cela, ils devaient poser une question à Thomas Pesquet, parrain de l'association. Et, surprise, ils ont pu monter sur scène pour la lui poser

directement ! C'était beaucoup d'émotion pour nos jeunes lecteurs qui, malgré les mots réconfortants de notre astronaute préféré, étaient très impressionnés.

Cette soirée magnifique, dédiée à une cause touchante, était brillamment et gaiement orchestrée par le chef d'orchestre Éric du Faÿ, avec l'association des Petites Mains symphoniques. Nos lecteurs étaient aux premiers rangs pour voir des invités prestigieux, tels que Bertrand Piccard, Yann

Arthus-Bertrand ou Anggun, marraine de ASF. Et dans le public, nous avons compté pas moins de trois astronautes en plus de Thomas Pesquet : Claudie et Jean-Pierre Haigueré, ainsi que Michel Tognini.

*Pour en savoir plus sur ASF :*  
<https://asf-fr.org/fr>



**Giliane Douls**  
pour le marketing  
Science & Vie

## LE COMITÉ SCIENTIFIQUE SE TIENDRA À L'INSTITUT PASTEUR

Chers abonnés, notre prochain comité scientifique, qui aura pour thème "Les maladies ont-elles un sexe ?", se tiendra le jeudi 7 décembre au célèbre Institut Pasteur, à Paris. Lors de cette journée, la rédaction de *Science & Vie* débattrait avec des scientifiques, spécialistes en recherche médicale, autour de questions telles que l'influence de la génétique, de l'immunologie, des hormones, mais

aussi du social dans la prévalence de certaines maladies. Et si cela vous intéresse, nous vous proposons à vous, abonnés, d'y participer ! Cette table ronde sera l'occasion de poser des questions aux chercheurs et chercheuses, ainsi que de discuter avec la rédaction lors du cocktail de fin.

*Pour participer, écrivez à : [diversification.science@reworldmedia.com](mailto:diversification.science@reworldmedia.com)*





## UN PÉRIPE SCIENTIFIQUE SUR LES TRACES D'ULYSSE



Heureux qui, comme Ulysse, a fait un beau voyage : après le succès de leur périple autour de l'Atlantique Nord jusqu'au Groenland, l'association Nerrivik – dont S&V Découvertes et S&V Junior sont partenaires – et son intrépide voilier Bernick repartent en expédition. Âgés de 24 à 26 ans, les six nouveaux membres de l'équipage ont largué les amarres dimanche 19 novembre, à Toulon, pour trois mois en mer entre France, Italie, Grèce et Tunisie. L'objectif ? Allier recherche scientifique, éducation et inclusion sociale, tout cela autour d'un fil conducteur : revivre l'aventure d'Ulysse en remontant ses traces. Leurs missions les amèneront à déployer de nombreux protocoles élaborés avec des laboratoires partenaires pour étudier les milieux marins.

Pour en savoir plus : [www.mission-nerrivik.com](http://www.mission-nerrivik.com)



### UN MOOK POUR RACONTER LES SCIENCES

À chaque époque et dans chaque domaine, des avancées majeures ont contribué à la science d'aujourd'hui. Découvrez-les à travers 64 portraits et 5 disciplines, par des rubriques simples et concises : chronologies, grandes découvertes, controverses, contexte social... L'histoire de la science par les personnalités qui l'ont faite.

Collection Les Cahiers de S&V, 19,90 €



### TECHNO-GUERRE

Chaque conflit est un terrain d'expérimentation pour de nouvelles technologies. Le conflit en Ukraine n'échappe pas à la règle, et c'est à nos portes que se jouent déjà les défis de demain avec les satellites, les drones, les hypermissiles et les soldats augmentés...

S&V Hors-Série n°310, 5,95 €



### LE CÔTÉ OBSCUR DE L'UNIVERS

Ce mois-ci, on vous embarque à bord d'Euclid, un télescope spatial lancé en juillet, qui tente de percer les secrets de la matière noire et de l'énergie sombre. Qu'est-ce que cette matière noire qui contient les galaxies alors qu'elles foncent à toute vitesse ?

S&V Junior n°411, 5,20 €



### JOYEUX ANNIVERSAIRE !

SVD fête son n°300 en fanfare ! Dans ce numéro spécial, on te parlera de 100 records fous fous fous qui vont te laisser sans voix : quel animal a l'odorat le plus fin ? Quelle plante carnivore est la plus rapide ? Quel est le poids de la plus grosse météorite arrivée sur Terre ?...

S&V Découvertes n°300, 5,90 €



### VIVE LE VENT D'HIVER

Pourquoi il fait froid l'hiver ? Comment se forme la glace ? Et la neige ? Que deviennent les animaux et les plantes quand il fait très froid ? Nano et ses amis te disent tout ce qu'il y a à savoir sur l'hiver, la saison des bonshommes de neige et du père Noël !

Mon Petit S&V n°28, 5,95 €



## OBJECTIF MARS !

Le ciel est parsemé d'étoiles et d'innombrables galaxies : c'est de là que vient notre Système solaire. Grâce aux avancées de la science et des technologies, les explorations spatiales sont de plus en plus ambitieuses. Les futures expéditions sur la Lune permettront de mieux comprendre notre satellite mais aussi de préparer d'éventuelles missions habitées sur Mars. Notre voisine, qui aurait jadis

abrité de vastes réservoirs d'eau, soulève des questions, notamment sur de potentielles traces de vie. L'hypothèse d'une colonisation de la Planète rouge serait-elle une solution viable en cas d'effondrement de notre écosystème ?



### Les nouvelles frontières de l'espace – saison 5

Chaque vendredi à 20h45, à partir du 15 décembre

## LES AÉROPORTS, MODÈLES D'ORGANISATION

Comment les grands aéroports, qui accueillent plusieurs millions de voyageurs par an, peuvent-ils mener des chantiers d'envergure tout en continuant à fonctionner ? Suivez le

quotidien des ingénieurs qui repensent intégralement ces bâtiments avec des ambitions

parfois démesurées, comme construire le premier aéroport bioclimatique au monde !



### Aéroports français : des chantiers XXL

Dimanche 10 décembre à 20h45

## LA FRANCE DE L'OUEST AU FIL DU BITUME

L'autoroute A10, reliant Paris à Bordeaux, est un axe essentiel pour la France. Elle permet le transport incessant de marchandises, assure les trajets quotidiens de centaines de milliers de travailleurs et absorbe les plus grandes pointes de trafic estivales. Au fil des kilomètres et des chantiers, ingénieurs et ouvriers font converger leurs efforts vers un seul objectif : maintenir au plus haut niveau les infrastructures de la plus grande autoroute du pays.



### L'A10: la plus grande autoroute de France

Lundi 18 décembre à 20h45

Scannez ce QR code pour en savoir plus :



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

Plus d'informations sur @scienceetvietv   



“JE DÉVELOPPE  
LA BEAUTÉ DU FUTUR”

**SORAYA**  
RESPONSABLE DE PRODUCTION

### **Nos esprits novateurs et audacieux**

Ils travaillent ensemble en incubateurs, laboratoires, centres de production ou plateformes logistiques à travers le monde. Leur mission : créer la beauté qui fait avancer le monde.

Pour Soraya, cela veut dire : guider nos experts pour créer l'industrie du futur au service de la beauté, tout en restant agile, innovant et par-dessus tout responsable.

**L'ORÉAL**  
G R O U P E

CRÉER LA BEAUTÉ QUI  
FAIT AVANCER LE MONDE

# L'actu des sciences

ARCHÉOLOGIE

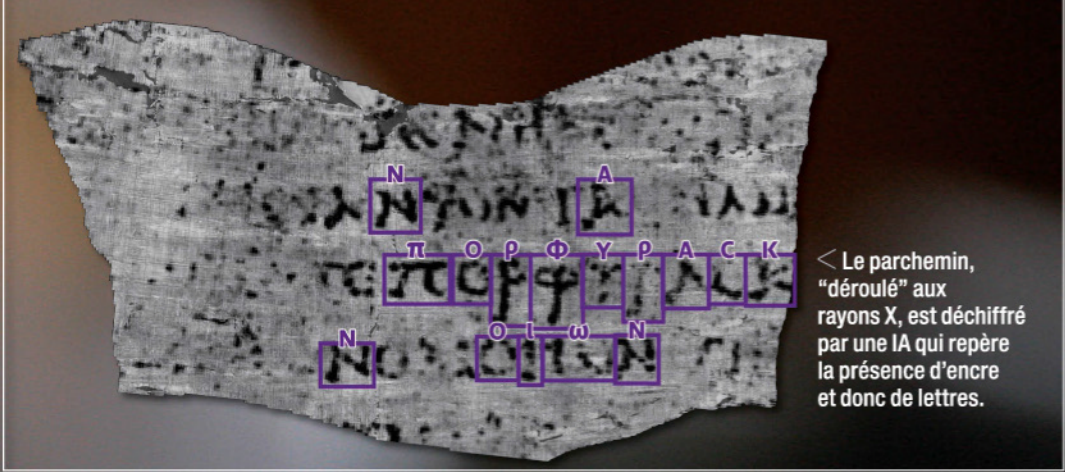
## “POURPRE” : LE PARCHEMIN CARBONISÉ D'HERCULANUM LIVRE SON PREMIER MOT !

On dirait une bûche noire par le feu... sauf que l'objet ci-contre est un parchemin datant de l'époque gréco-romaine, découvert avec de nombreux autres dans les années 1750 sur le site d'Herculanum, en Italie. L'éruption du Vésuve, en 79 après J.-C., a rendu impossible leur lecture directe – tentez de les dérouler et ils tomberont en poussière. Voilà pourtant que des mots y ont été lus et compris. Tout commence en 2019 :

à grands coups de rayons X, des chercheurs américains réussissent à “déplier” le parchemin numériquement. De quoi tenter d'y déceler des lettres, en entraînant des intelligences artificielles à reconnaître les changements de texture du papier caractéristiques de la présence d'encre, un projet décliné en compétition en mars 2023, le Vesuvius Challenge. Et Luke Farritor, étudiant à l'université du Nebraska, aux États-Unis, est le pre-

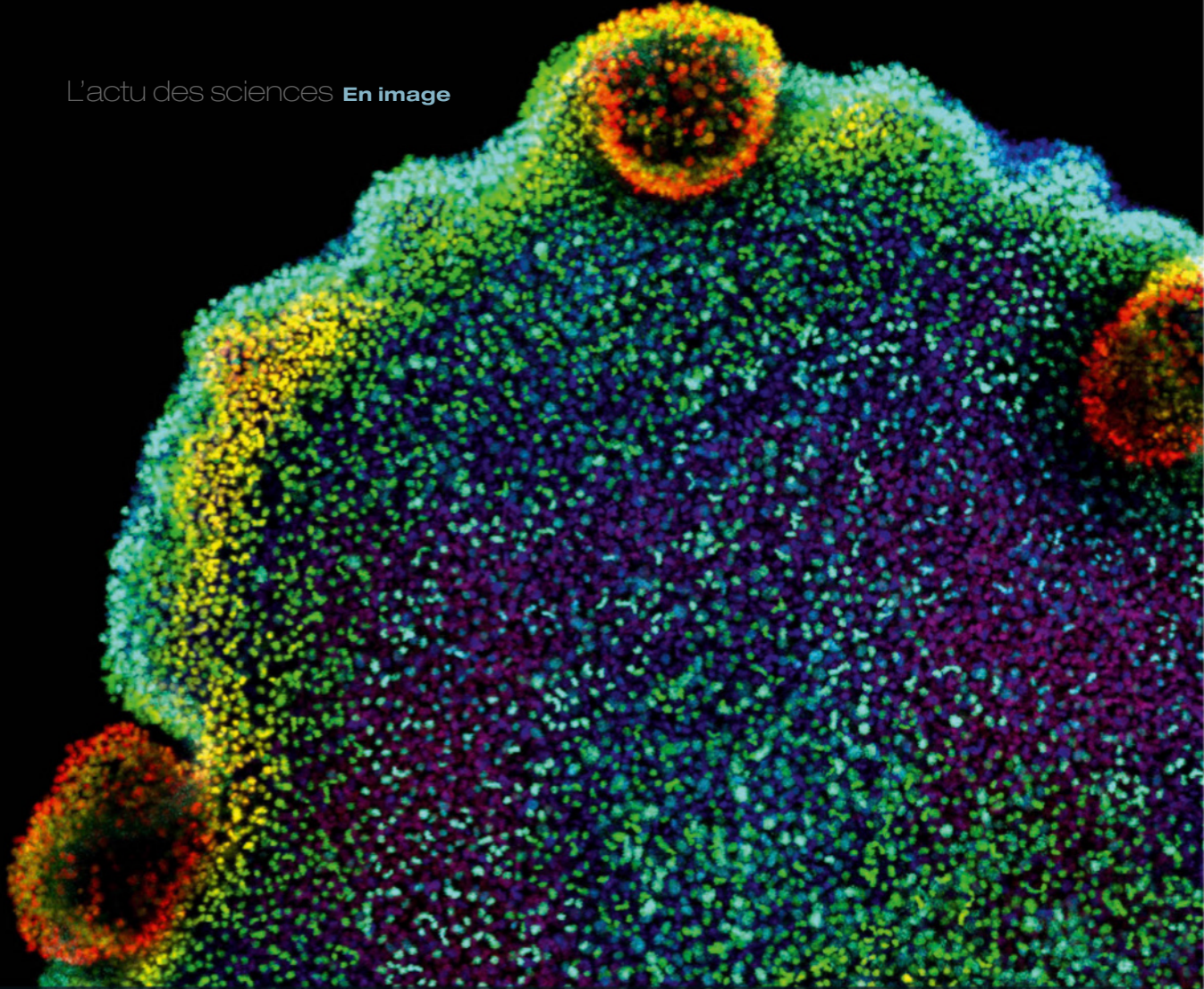
mier à y arriver : il a déchiffré le mot en grec ancien, ΠΟΡΦΥΡΑΣ, signifiant “pourpre” en français. “J'en ai eu le souffle coupé, témoigne Nathaniel Friedman, l'un des créateurs de la compétition. *Quelle sensation que de lire enfin ces lignes prisonnières !*” De quoi parle le texte ? Nathaniel Friedman joue le suspense : “*De musique, d'après nos soupçons. Nous devrions bientôt savoir, nous sommes en train de tenter de déchiffrer le titre.*” **C.M.**





< Le parchemin, "déroulé" aux rayons X, est déchiffré par une IA qui repère la présence d'encre et donc de lettres.





ÉVOLUTION

## CET ORGANISME DÉVOILE L'ÉVOLUTION DE NOS NEURONES

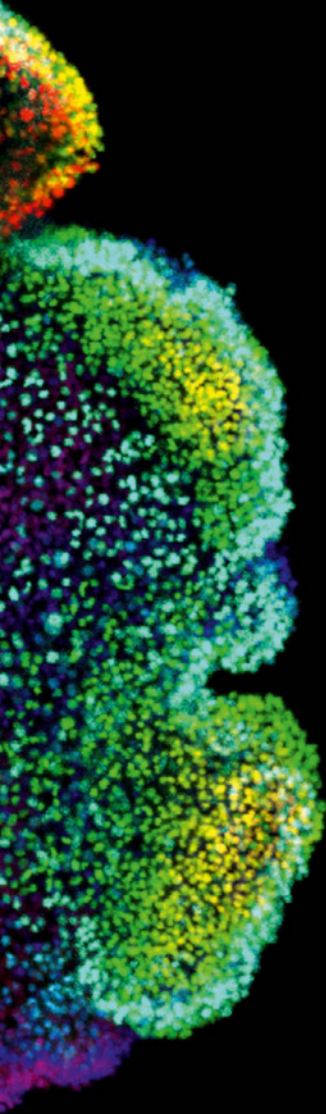
Elles mesurent de 1 à 3 mm, ressemblent à des petits pancakes, sont dépourvues de systèmes respiratoire, digestif, nerveux... Et pourtant, ces créatures marines ultra-simples, les placozoaires, abritent d'étonnantes cellules proches de nos neurones ! Une équipe espagnole du Centre de régulation génomique de Barcelone les ont identifiées en car-

tographiant l'expression des gènes dans chaque type de cellules de ces animaux. *“Les placozoaires peuvent se déplacer, se nourrir et se reproduire grâce à des cellules particulières appelées peptidergiques. Elles produisent de petites protéines, les peptides, qui agissent comme des signaux chimiques auprès des différentes cellules de*

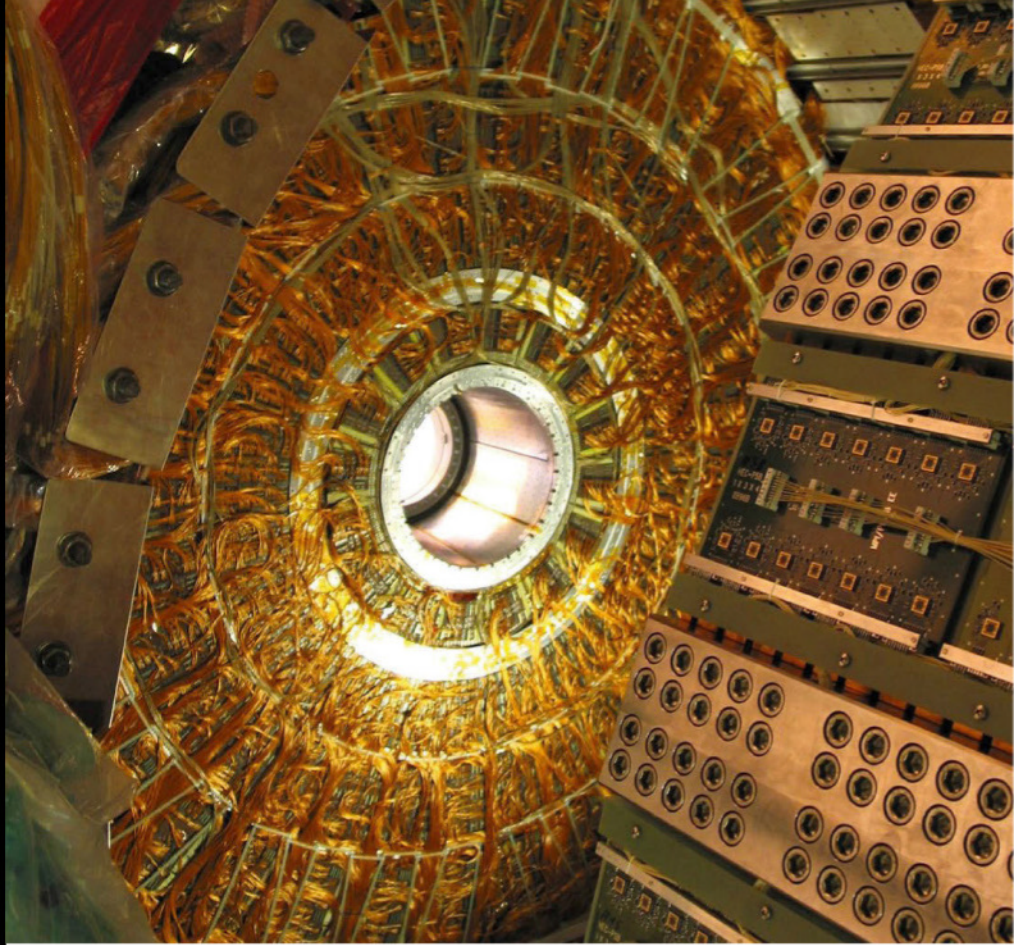
*l'organisme”*, décrit Sebastián Najle, auteur principal de l'étude. Les similitudes ne s'arrêtent pas là... Non seulement ces cellules se forment par un processus similaire à la neurogenèse, mais elles abritent aussi les gènes requis pour fabriquer la partie des neurones qui émet un signal. Conclusion : ces premiers éléments de neurones se seraient mis

en place il y a au moins 800 millions d'années, chez l'ancêtre commun entre les placozoaires et nous – des créatures marines simples. Et les neurones seraient apparus des millions d'années plus tard, chez l'ancêtre commun des cnidaires (méduses, coraux...) et des bilatériens – la majorité des animaux connus, des mammifères aux insectes.

L.G.



^ Les placozaires comportent des cellules qui agissent comme des éléments de neurones.



^ Seules des infrastructures comme le Cern permettent ce type d'observations.

## PHYSIQUE QUANTIQUE

# ON A VU DES QUARKS S'INTRIQUER

SEBASTIAN R. MAJAL/CENTRO DE REGULACIÓN GENÓMICA - ATLAS EXPERIMENT CERN

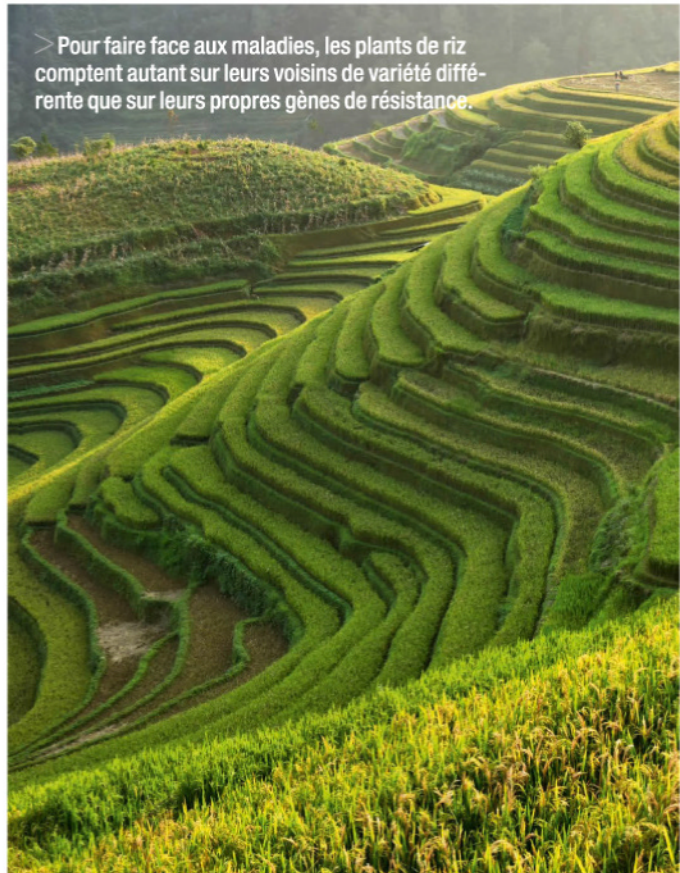
L'intrication quantique, ce phénomène qui unit les particules quelle que soit leur distance, a déjà été observée entre photons, électrons... mais jamais entre les particules les plus élémentaires, les quarks! Pour sonder la matière à de si petites échelles, en effet, un niveau démesurément haut d'énergie est requis, seulement atteignable à l'aide d'importantes structures comme l'accélérateur de particules du Cern, le LHC. Eh bien justement, la collaboration Atlas, du Cern, annonce avoir observé l'intrication quantique entre des paires de quarks à une énergie de 13 TeV (téraélectronvolts), 12 ordres de grandeur de plus que les expériences de laboratoire usuelles. *"Les physiciens ont montré que le spin [caractéristique intrinsèque des particules, ndr] d'un des quarks de la paire ne choisit son état qu'au moment de la mesure de l'autre quark, ce qui est une signature de l'intrication"*, commente Yves Sirois, physicien au Laboratoire Leprince-Ringuet, à Palaiseau. D'après les millions de données récoltées par le LHC, la chance que cette intrication ne soit qu'une erreur est inférieure à 1 sur 1 million. **E.-O.E.**

**BIOLOGIE VÉGÉTALE**

## L'ENTRAIDE ENTRE PLANTES VOISINES SE PRÉCISE

En cas d'attaque de pathogène, les végétaux sont capables de se protéger mutuellement en instaurant une forme d'immunité collective. Or voilà que ce phénomène appelé "sensibilité modulée par le voisinage" vient d'être analysé et quantifié par une équipe de chercheurs chinois et français, chez deux espèces communes : le riz et le blé. Les biologistes ont cultivé 400 paires associant deux plants – de variétés différentes ou non – de blé dur d'une part, et de riz d'autre part. Puis les ont exposés à des champignons qui s'attaquent à leurs feuilles (*Magnaporthe oryzae* pour le riz, *Puccinia triticina* pour le blé). Résultat : chez les plantes qui poussaient avec des voisines de variété différente, par rapport à celles qui poussaient à côté de plantes génétiquement identiques à elles-mêmes, jusqu'à 90 % de sensibilité en moins à la maladie a été observé ! "Autrement dit, la résistance aux maladies est conditionnée autant par les gènes d'une plante que par le dialogue avec ses voisines", explique l'un des auteurs, Jean-Benoît Morel, de l'Inrae de Montpellier. En concevant des mélanges variétaux, les agriculteurs pourraient ainsi réduire l'utilisation de produits chimiques pour lutter contre les maladies. "Reste maintenant à comprendre comment les plantes reconnaissent leurs apparentées !" poursuit le biologiste.

**E.H.**



> Pour faire face aux maladies, les plants de riz comptent autant sur leurs voisins de variété différente que sur leurs propres gènes de résistance.

EHT COLLABORATION - SHUTTERSTOCK/SIRISAK BAKKAEW



**ASTROPHYSIQUE**

## OUI, LES TROUS NOIRS TOURNENT BIEN !

Albert Einstein l'avait prédit dans sa théorie de la Relativité générale : certains trous noirs tournent sur eux-mêmes. Reste que comme ces monstres cosmiques sont optiquement invisibles, le phénomène n'avait jamais été prouvé par l'observation. C'est enfin chose faite,

< Le phénomène a été observé sur le trou noir supermassif de M87.

grâce à une équipe internationale qui a pu le capter à l'aide du télescope Event Horizon (EHT).

Les astrophysiciens ont analysé vingt ans d'observations du trou noir supermassif situé au centre de la galaxie M87. Celui-ci est entouré d'un disque d'accrétion composé de matière chauffée à des températures extrêmes et dont une partie est recrachée sous forme de



jets à une vitesse proche de celle de la lumière. Or l'axe du jet de M87 change d'environ  $10^\circ$  tous les 11 ans, comme une toupie vacillant sur son axe. *"Du fait de sa rotation et de sa force gravitationnelle, le trou noir occasionne un effet dit de précession qui courbe et tord l'espace-temps,* explique l'astrophysicien Yuzhu Cui, de l'université Jiao Tong de Shanghai, en Chine.

*C'est ce qui entraîne et modifie l'axe du jet."*

Une caractéristique que les trous noirs acquièrent dès leur naissance, décrit Éricourgoulhon, de l'Observatoire de Paris : *"En s'effondrant soudainement vers l'intérieur et en absorbant toujours plus de matière, il accroît sa vitesse de rotation."* Comme un patineur tourne plus vite sur lui-même en ramenant les bras sur son corps. **O.D.**

---

## Ça reste à prouver...

---

### DES ATOMES SUPER-LOURDS DANS LA CEINTURE D'ASTÉROÏDES ?

Dans la Ceinture d'astéroïdes, l'objet 33 Polyhymnia se démarque : sa densité de  $75 \text{ g/cm}^{-3}$  est la plus élevée parmi tous les objets célestes détectés. Surtout, aucun des éléments du tableau périodique n'est en mesure d'afficher une telle densité ! Alors quoi ? Dans une nouvelle étude, Evan LaForge et ses collaborateurs de l'université de l'Arizona, aux États-Unis, émettent une hypothèse : 33 Polyhymnia serait composée d'éléments superlourds stables inconnus. Les éléments superlourds sont des éléments bien plus lourds que le plus lourd des éléments du tableau périodique. Ils se désintègrent normalement très rapidement, mais la théorie prévoit tout de même l'existence d'un îlot de stabilité, où les noyaux ayant plus de 114 protons pourraient par exemple survivre quelques minutes voire quelques heures. Toujours pas de quoi former un astéroïde durant des milliards d'années, certes... Sauf que, selon les calculs d'Evan LaForge, des éléments d'environ 164 protons pourraient, eux, rester stables suffisamment longtemps et reproduire la densité de 33 Polyhymnia. Problème : *"Le calcul ne considère que les aspects atomiques,* pointe Araceli Lopez-Martens, physicienne à l'IJCLab. *Même si l'on admet que les prédictions concernant la stabilité des noyaux superlourds sont correctes, difficile d'imaginer un phénomène astrophysique pouvant synthétiser de tels noyaux !"* De plus, la densité même de 33 Polyhymnia pose question. *"La mesure date de 2012 et elle n'a jamais été ni répétée ni confirmée. Que les dimensions de l'objet puissent être estimées est une chose, mais la masse d'un si petit objet me paraît difficilement mesurable avec une grande précision."* **E.-O.E.**



Ces pièces de bois de toute évidence travaillées sont vieilles de 476 000 ans !

## ARCHÉOLOGIE

# ON A DÉCOUVERT LA PLUS VIEILLE CONSTRUCTION EN BOIS DU MONDE

Au bord de la rivière Kalambo, en Zambie, l'archéologue anglais Larry Barham et ses collègues ont fait une incroyable découverte : des rondins de bois anciens et travaillés. *"Au départ, nous avons cru qu'ils avaient été disposés ainsi par le cours d'eau. Puis quand nous avons vu les marques d'outils et la manière cruciforme dont ils étaient encastrés, plus de doute : nous avons affaire à une construction"*, raconte le chercheur. D'après les techniques de datation, la structure est âgée d'environ 476 000 ans... ce qui en fait la plus ancienne en bois à ce jour, plus vieille que notre espèce elle-même ! *"Nos ancêtres étaient donc aussi capables de travailler le bois"*, pointe Larry Barham. *"Ils étaient plus ingénieux que nous le pensions, mais aussi plus sédentaires."* Difficile de déterminer à quoi servait cette construction. *"À l'époque, il y avait sans doute un marais à cet endroit ; peut-être s'agissait-il d'une passerelle, ou d'une plateforme pour stocker des choses au sec, ou encore des fondations d'un abri."*

PROF. LARRY BARHAM

L.G.

# 635 266

C'est, en km/h, la vitesse de l'objet le plus rapide jamais conçu par l'homme : la sonde solaire Parker (ou PSP). Elle a battu son précédent record de 586 863,4 km/h en gagnant de la vitesse grâce à l'influence gravitationnelle de Vénus, pour s'approcher à seulement 7,26 millions de kilomètres de la surface du Soleil. Un autre survol est envisagé pour 2024, à une distance prévue de 6,16 millions de kilomètres de la surface solaire, à une vitesse encore plus élevée ! O.D.



# RÊVER À NOUVEAU C'EST TOUT UN APPRENTISSAGE

Apprentis d'Auteuil aide chaque année près de 40 000 jeunes<sup>(1)</sup> en difficulté à bâtir leur avenir.

Soutenez-nous sur [www.apprentis-auteuil.org](http://www.apprentis-auteuil.org)



La confiance peut sauver l'avenir

✓ Les basses fréquences s'expliqueraient par la présence de coussinets sur les cordes vocales.



## PHYSIOLOGIE ANIMALE

# ON A TROUVÉ COMMENT RONRONNENT LES CHATS

Ce petit bruit de moteur caractéristique intrigue depuis longtemps les scientifiques... "*Comment un chat, petit animal pesant à peine quelques kilos, peut-il produire des sons à des fréquences incroyablement basses, de 20 à 30 Hz, bien en dessous de ce dont est capable la voix humaine ?*" soulève Christian Herbst, de l'université de Vienne, en Autriche. Normalement, en effet, plus un animal est grand et donc doté de longues cordes vocales, plus la fréquence des sons qu'il produit est basse...

Pour percer le mystère, le chercheur autrichien spécialisé en acoustique a prélevé les larynx de huit chats qui, en raison de maladies incurables, avaient dû être eutha-

nasiés. Résultat : en y insufflant de l'air, les organes produisaient bien des ronronnements, sans même nécessiter de contraction musculaire ou des inductions neuronales, comme ce que l'on pensait jusque-là. Par contre, ces larynx étaient dotés de particularités jamais encore décrites : "*Des sortes de petits coussinets sont incorporés aux cordes vocales, et pourraient bien expliquer le phénomène*", pointe Christian Herbst. Reste à comprendre par quel mécanisme ces petites structures de tissu conjonctif, mesurant jusqu'à 4 mm, abaissent la fréquence des sons produits par les cordes vocales des félins. Et pourquoi cela nous attendrit tant.

L.G.





Découvrez la nouvelle  
Gamme SUV Honda électrifiée :  
100% Électrique, Hybride intégral  
ou Hybride rechargeable.

Conçu pour durer



DE  
GARANTIE  
MOTEUR  
OFFERTE\*



**e-NY1**



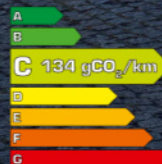
**ZR-V**



**HR-V**



**CR-V**



Découvrez quelle Honda électrifiée est faite  
pour vous et toutes nos offres sur [honda.fr](https://honda.fr)

Consommations mixtes WLTP min - max et émissions de CO<sub>2</sub> mixtes WLTP min - max : e-NY1 18,2 - 18,2 kWh/100 km et 0 g/km ; ZR-V 5,7 - 5,8 l/100 km et 130 - 132 g/km ; HR-V 5,4 - 5,4 l/100 km et 122 - 122 g/km ; CR-V 0,8 - 6,7 l/100 km et 18 - 151 g/km.

\*Sous réserve du suivi régulier de l'entretien Honda selon les préconisations constructeur et les indications de l'ordinateur de bord. Offre soumise à d'autres conditions disponibles sur [auto.honda.fr](https://auto.honda.fr). **Garanties des batteries: électriques 8 ans, hybrides 5 ans, standards 3 ans.** Honda Motor Europe Limited (France) Parc d'activités de Pariest, Allée du 1er Mai - Croissy Beaubourg BP 46 - 77312 MARNE-LA-VALLEE Cedex 02 (FRANCE) - Enregistré au RCS sous le SIRET : 509 243 564 00028.

Au quotidien, prenez les transports en commun #SeDéplacerMoinsPolluer

## 3 DÉCOUVERTES SUR...

# LES TECHNIQUES DE PEINTURE DE LÉONARD DE VINCI

Le génie de De Vinci ne se laisse pas découvrir facilement ! Malgré son héritage conséquent, ses œuvres recèlent en effet encore bien des secrets. Récemment, des chercheurs ont enquêté sur l'élaboration chimique de ses peintures... et montré que chaque ingrédient était choisi avec beaucoup d'attention.

PAR CHARLOTTE MAUGER

1

### Il préparait assidûment son panneau avant de le peindre

En analysant un micro-échantillon de la sous-couche de *La Joconde*, des chercheurs français et britanniques ont découvert des ingrédients peu communs : un mélange d'huile de plomb et de la plombonacrite, fruit d'une réaction chimique. Cette recette "permettait sûrement d'obtenir une peinture plus épaisse, et de lui conférer de meilleures propriétés de séchage", estime Myriam Eveno, chimiste au CNRS, co-autrice de l'étude.

2

### Il travaillait précisément les blancs

L'étude d'un autre fragment d'une œuvre du grand maître, *La Vierge, L'Enfant Jésus et sainte Anne*, a révélé l'attention portée à l'élaboration de la couleur blanche. La même équipe de chercheurs a en effet découvert que De Vinci utilisait deux couches différentes de blanc de plomb. Probablement un choix esthétique : "L'hypothèse est qu'il utilisait plusieurs types de blanc de plomb pour leurs différentes qualités. Par exemple, la taille des cristallites apporte des propriétés optiques différentes, ce que pouvait rechercher Léonard de Vinci", explique Myriam Eveno.

3

### Il utilisait du jaune d'œuf

Tout comme Botticelli ou Rembrandt. Une équipe germano-italienne a voulu reproduire l'expérience en recréant le mélange. Les chercheurs se sont rendu compte que cet ingrédient avait plusieurs avantages, comme ralentir l'oxydation du blanc de plomb ou éviter l'apparition de rides sur la peinture. D'ailleurs, dans ses premiers tableaux, comme *La Madone à l'œillet*, De Vinci n'ajoutait pas de protéine d'œuf... et des plissements y sont visibles. Le peintre n'aurait utilisé cette astuce que par la suite.

## Dégustation

### CAFÉ EN GRAIN

# VOYAGE AU PLUS PRÈS DES ARÔMES

Le café en grain offre un véritable voyage sensoriel. De l'ouverture du paquet à la tasse, plongez dans un vaste univers aromatique.

**S**i le café est la deuxième boisson la plus consommée au monde (après l'eau!), c'est sans doute parce qu'il est une véritable source de plaisir et de gourmandise. Une longue histoire s'exprime à travers l'odeur envoiante des grains de café torréfiés. Celle des caféiers qui s'épanouissent en altitude dans les régions tropicales et subtropicales, où l'on cueille les cerises de café à maturité avant d'en extraire les précieux grains de café verts. Elle rappelle à chaque tasse la beauté singulière des terres de café.

### Une pépite de saveur brute

Qu'ils soient de la famille des prestigieux Arabica ou des puissants Robusta, chaque grain est unique et apporte ses qualités organoleptiques. Les grains de café verts, sélectionnés avec le plus grand soin, sont d'abord neutres en goût. Lors de la torré-

faction, processus d'excellence, ils sont délicatement grillés, transformés, pour révéler tous leurs arômes. Sitôt la torréfaction terminée, les grains de café doivent être préservés dans un emballage doté d'une valve fraîcheur qui les protège parfaitement de l'air et de la lumière, car leurs arômes sont très vulnérables à l'oxydation.

### Une préparation sur mesure

Court ou long, intense ou doux, avec ou sans lait... le café en grain se prête à toutes les envies et tous les modes de préparation. Pour boire le meilleur des cafés, le mieux est, si possible, de le moudre juste avant de le consommer et de maintenir la qualité des grains en les conservant, à température ambiante, dans un emballage opaque bien fermé. À l'abri, les grains garderont toute leur fraîcheur et la richesse aromatique qui les rendent si précieux.



## Le saviez-vous?

Un café filtre contient plus de caféine qu'un espresso. En effet, le volume d'une tasse de café filtre et le temps d'infusion jouent sur la teneur en caféine.

### Sur la piste du goût

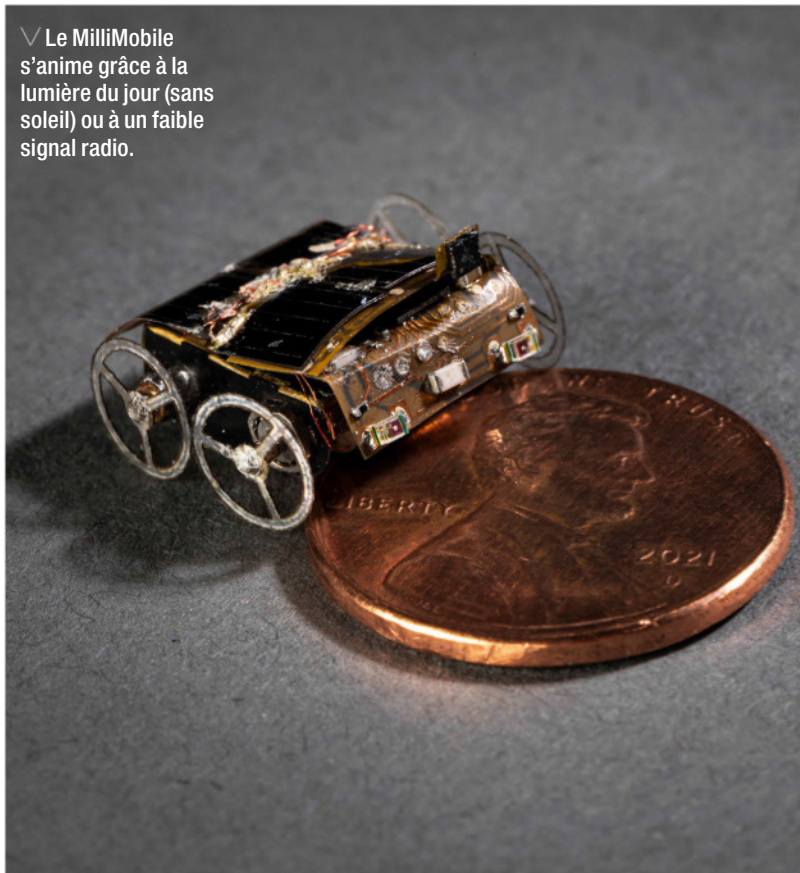
La sélection, l'assemblage et la torréfaction des grains de café sont l'affaire de spécialistes. Chez L'OR, référence du café espresso, les maîtres-torréfacteurs déploient leur savoir-faire pour que chaque paquet renferme une exceptionnelle richesse aromatique.



Pour profiter d'une offre exclusive, rendez-vous sur [lorespresso.com](https://lorespresso.com)



✓ Le MilliMobile s'anime grâce à la lumière du jour (sans soleil) ou à un faible signal radio.



## ROBOTIQUE

# CE MINIROBOT NE NÉCESSITE QU'UNE MINI-ÉNERGIE POUR AVANCER

Créé par Kyle Johnson et son équipe de l'université de Washington, aux États-Unis, le MilliMobile est un robot de 1,1 g et de 1 cm<sup>2</sup>. Surtout, il se déplace grâce à très peu d'énergie – lumière ou ondes radio. Ainsi, avec seulement 50 µW (microwatts) de puissance puisée dans une lumière d'à peine 20 W/m<sup>2</sup> (un ciel totalement couvert délivre 50 W/m<sup>2</sup>) ou un faible signal radio de -10 dBm (le wi-fi d'un portable délivre 15 dBm), le MilliMobile fera dans les 20 cm en une heure! *"En plein soleil, il peut parcourir 10 m dans le même temps"*, s'émerveille Kyle Johnson. Son logiciel lui permet aussi de suivre une route croisant les zones les plus favorables en énergie. Portant jusqu'à 3 fois son poids, il peut être équipé de divers capteurs et transmettre un signal jusqu'à 200 m. *"Notre robot pourra localiser des signaux, chercher des fuites de gaz, etc."*, énumère Kyle Johnson. Les chercheurs veulent désormais en développer des essaims capables d'accomplir des tâches où l'union fait la force, telle l'inspection d'une infrastructure routière. **S.F.**

MARK STONE/UNIVERSITY OF WASHINGTON - WUWANG ET AL.

## BIOLOGIE FONDAMENTALE

# LA NOURRITURE DE CE VER BÉNÉFICIE À SES DESCENDANTS

Bien manger pendant la grossesse pourrait être plus important que l'on pensait : c'est ce que suggèrent des expériences menées sur le ver *C. elegans*. Souvent utilisés comme modèle, ces vers sont modifiés pour que leurs axones cassent avec l'âge. *"Nous les avons nourris d'acide ursolique [un composant des pommes et d'herbes comme le thym, ndlr] lors de la formation des œufs, et cela prévenait les cassures des axones sur les deux générations suivantes"*, témoigne Roger Pocock, de l'université Monash (Australie). Comment ? L'acide ursolique active un gène qui fabrique un sphingolipide. Celui-ci parvient aux œufs, protégeant les futurs petits vers. Et chez ces derniers, il active le gène qui assure sa propre fabrication... Le sphingolipide parvient alors à leurs œufs et les renforce. **A.D.**



✓ Une protection assurée sur deux générations !

# LES BEAUX LIVRES DE TOUS LES SAVOIRS



## LE GRAND ATLAS DU CLIMAT

Un enjeu planétaire

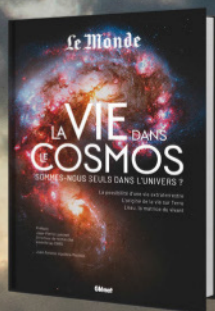
Préface de Jean-Louis Etienne  
Olivier Nouaillas

En librairie le 15 novembre



## LES FORÊTS DU MONDE

Préface Bruno David  
Jérôme Chave  
Sassan Saatchi  
Herman Shugart  
Peter White  
En librairie



## LA VIE DANS LE COSMOS

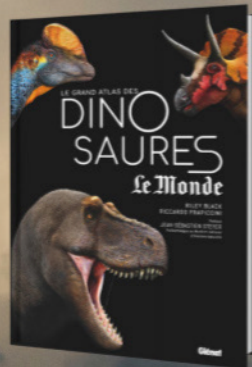
Préface de Jean-Pierre Luminet  
Juan Antonio Aguilera Mochón

En librairie



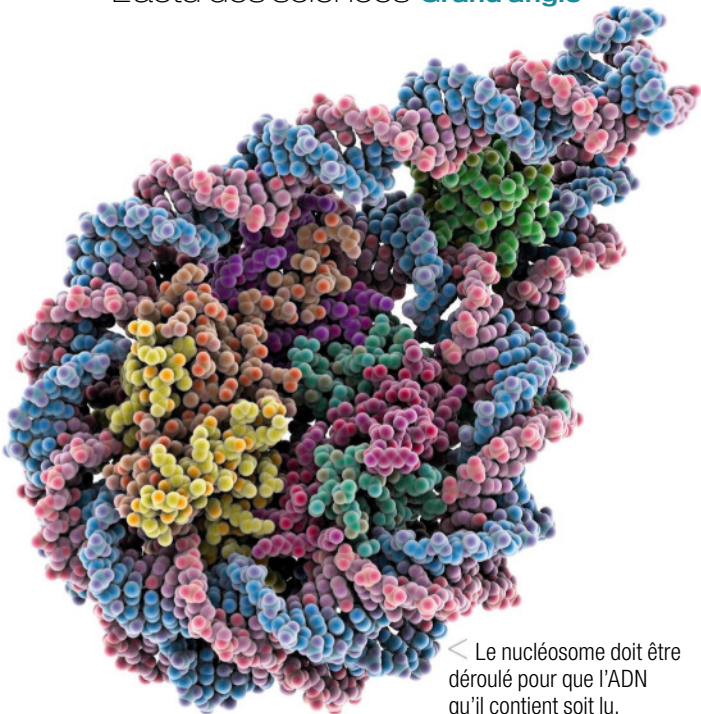
## LE GRAND ATLAS DE L'ASTRONOMIE (8<sup>e</sup> ed)

Collectif  
Préface Hubert Reeves  
En librairie



## LE GRAND ATLAS DES DINOSAURES

Préface Jean-Sébastien Steyer  
Riley Black  
Riccardo Frapiccini  
En librairie



## GÉNÉTIQUE

# AVEC L'ÂGE, NOS GÈNES SONT LUS PLUS VITE

Mais cela occasionne plus d'erreurs, révèlent des chercheurs allemands! Pour fonctionner, les cellules fabriquent des protéines d'après les instructions codées dans le matériel génétique qu'elles hébergent. Elles commencent par transcrire les portions d'ADN pour en faire des copies éphémères, des ARN. Or, en mesurant la vitesse de cette transcription dans des tissus variés de vers, mouches, souris, rats et d'humains, les généticiens ont constaté que cette vitesse augmentait légèrement au cours de la vie. *"L'ADN cellulaire est empaqueté autour de billes, les nucléosomes, explique Argyris Papantonis, de l'université de Göttingen. Avant d'être transcrit, il doit être déroulé puis il sera ré-enroulé. Avec l'âge, ces nucléosomes sont moins nombreux, et la lecture est facilitée."* Sauf que cette accélération s'accompagne d'une augmentation du nombre d'erreurs de copie, à l'origine de dysfonctionnements cellulaires liés à l'âge.

A.D.

< Le nucléosome doit être déroulé pour que l'ADN qu'il contient soit lu.

## MATHÉMATIQUES

### LE PILE OU FACE N'EST PAS "UNE CHANCE SUR DEUX" !

Pour laisser le sort décider, le pile ou face est l'une des meilleures options : simple, juste... du moins, mathématiquement ! Car en pratique, un côté de la pièce à l'avantage : celui qui, juste avant le lancer, est sur le dessus. C'est ce que des chercheurs néerlandais viennent de mettre en évidence, en répertoriant 350 757 lancers effectués par 48 personnes dans 46 pays – avec des devises différentes. À chaque fois, les participants devaient noter la face pointant vers le haut avant le lancer,

ainsi que le résultat. Or, dans 50,8 % des cas, la pièce atterrit en montrant le même côté. Pourquoi ? Une pièce de monnaie jetée passe peut-être plus de temps en l'air avec la face initiale vers le haut, ce qui lui donne l'avantage à l'atterrissage. Faut-il pour autant abandonner ce tirage au sort ? *"Il reste possible de dissimuler la pièce le temps que chacun choisisse entre pile ou face. De la sorte, personne ne peut être avantagé !"* conseille František Bartoš, coauteur de l'étude.

C.M.

# 6,5 %

C'est, selon de nouveaux travaux publiés par des scientifiques américains, la part du rendement céréalier mondial que l'on doit aux vers de terre (2,3 % pour celui des légumineuses). Ces animaux permettraient donc la production de 140 millions de tonnes d'aliments, soit à peu près la quantité de céréales (riz, blé, seigle, avoine, orge, maïs et millet) cultivées chaque année par la Russie, 4<sup>e</sup> producteur mondial.

V.F.

SPL/SCIENCEPHOTO.FR - SHUTTERSTOCK

## En bref



### LE MANDARIN VIT D'AMOUR OU D'EAU FRAÎCHE

Lorsque des oiseaux diamants mandarins mâles, assoiffés et isolés, perçoivent un signal annonçant qu'on va leur servir de l'eau, leur circuit cérébral de la récompense s'active. Mais si on leur présente en même temps une femelle, ils oublient leur soif et se concentrent sur leur partenaire ! Question de priorités... A.D.

### LA LUNE PREND 40 MILLIONS D'ANNÉES !

Selon une étude de l'université de Chicago, notre satellite est en fait âgé de 4,46 milliards d'années soit 40 millions de plus que pensé. Cette nouvelle datation permet d'affiner la chronologie de son origine, et notamment l'hypothèse du grand impact avec la protoplanète Théia, estimé à environ -4,5 milliards d'années. T.D.

# Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre...  
Les capacités du cerveau sont illimitées.



## Au rythme du cerveau

Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.



Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.

Dés études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. à l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.



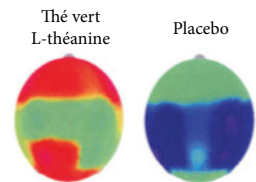
## Indispensable irrigation

Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène entraînent des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial.

La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

## Le cerveau passé au scanner

L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration.



Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles.

Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.

## Des conseils ?

Les experts New Nordic vous répondent au 01 85 42 33 75 (tarif local) [www.vitalco.com](http://www.vitalco.com)

**Cerveau Clair™**

Soutenir les performances mentales

## Disponible en pharmacie

Cerveau Clair 60 cp est disponible sous le code ACL 295 186 3.

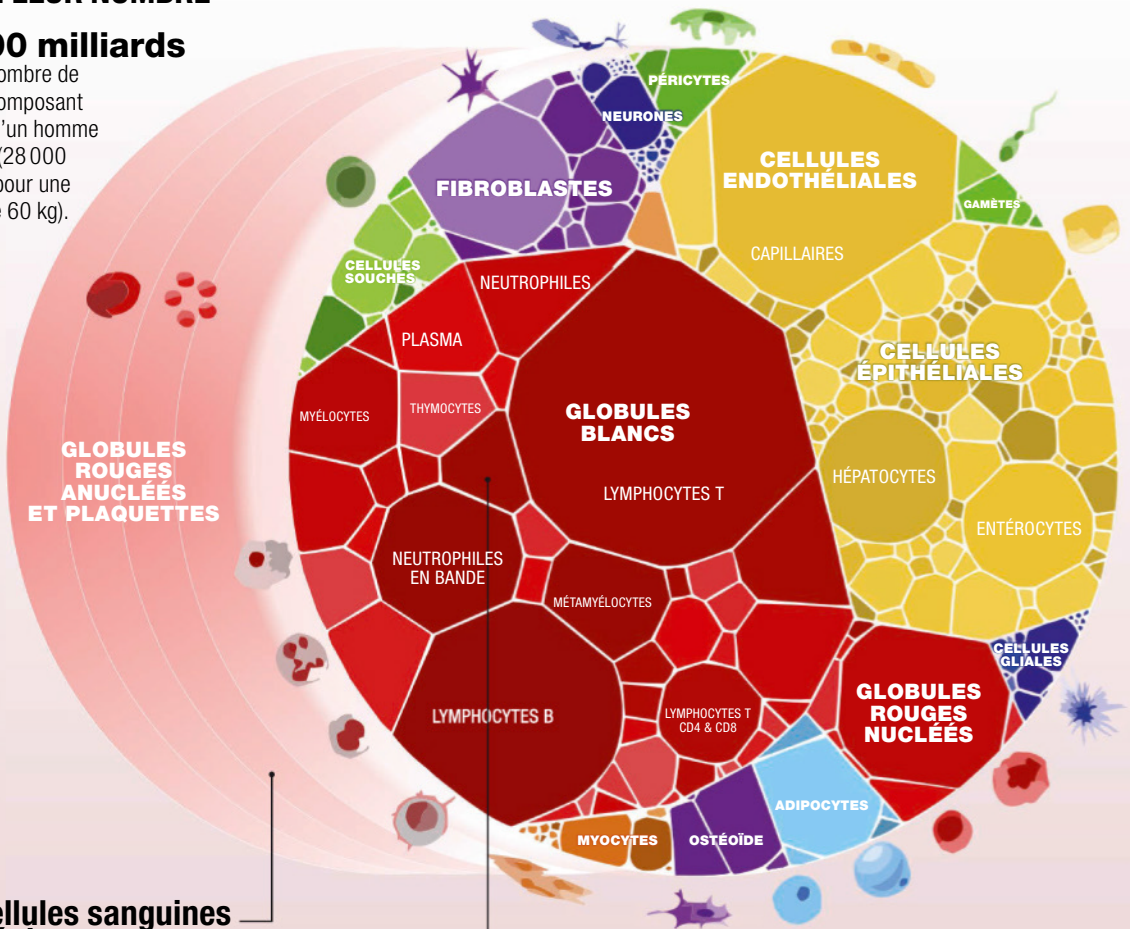


# VOICI TOUTES LES CELLULES DU CORPS HUMAIN !

## RÉPARTITION DES DIVERS TYPES DE CELLULES SELON LEUR NOMBRE

### 36 000 milliards

C'est le nombre de cellules composant le corps d'un homme de 70 kg (28 000 milliards pour une femme de 60 kg).



### Les cellules sanguines sont légion

Peu massifs, les globules rouges et les plaquettes sont de loin les cellules les plus nombreuses du corps humain : ils seraient 29 000 milliards, soit 4 fois plus nombreux que toutes les autres cellules réunies ! Selon les chercheurs, cette abondance va de pair avec leur petite taille : une cellule musculaire, par exemple, avec ses 2 cm de long environ, est ainsi plus d'un million de fois plus volumineuse qu'un globule rouge.

IANA HATTON ET AL./PNAS, 2023

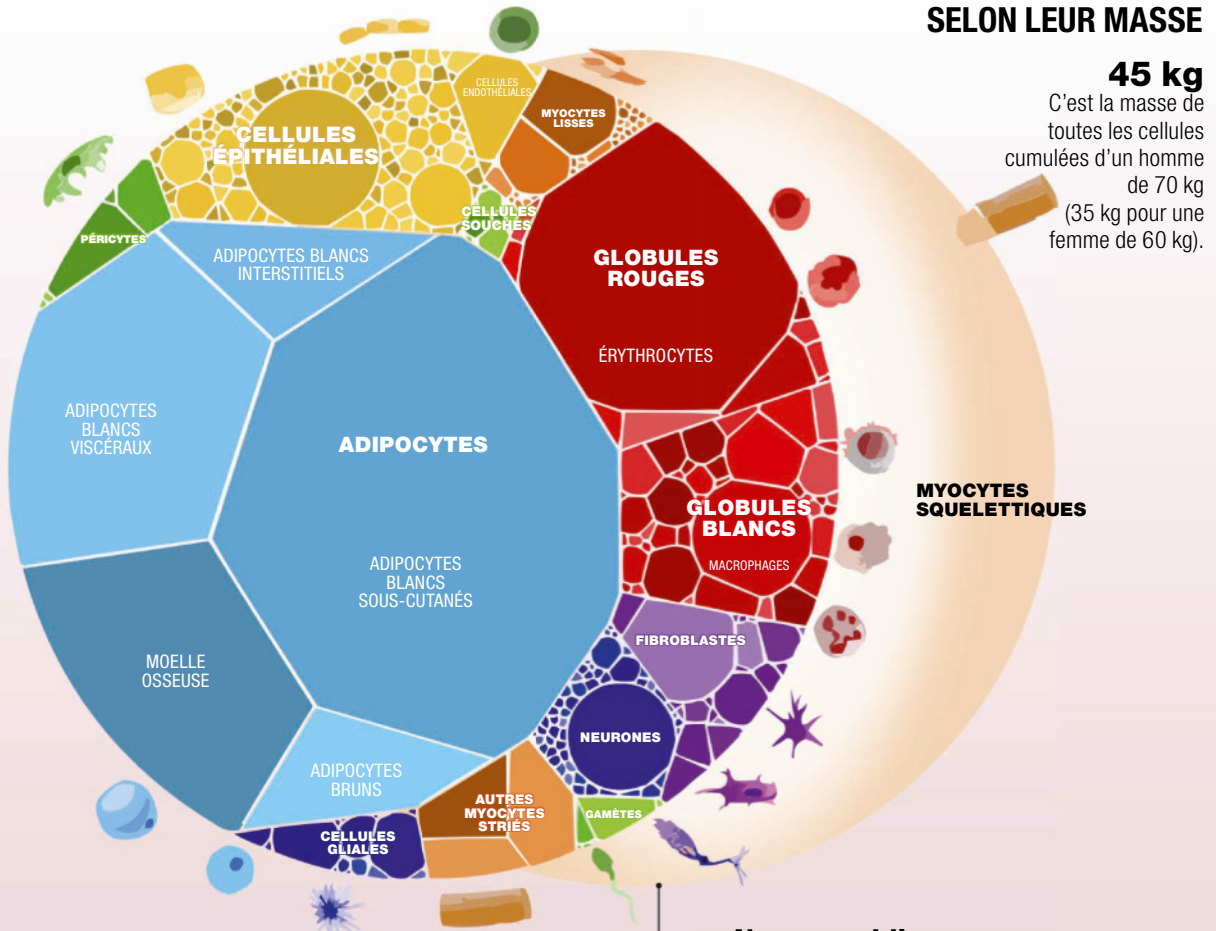
### Il y a plus de lymphocytes que prévu

C'est l'une des grandes surprises : nous posséderions 2 000 milliards de lymphocytes, des cellules essentielles aux fonctions immunitaires, soit quatre fois plus que les estimations précédentes ! "Cela pourrait changer beaucoup de choses dans la recherche médicale sur les maladies liées aux lymphocytes comme le VIH ou la leucémie", avance Ian Hatton, auteur principal de l'étude.



À partir de 1 500 études, des chercheurs de l'Institut Max-Planck de mathématique des sciences de Leipzig, en Allemagne, ont estimé le nombre, la masse et la taille des 1 264 groupes de cellules présents dans le corps humain. Un homme adulte de 70 kg posséderait ainsi 36 000 milliards de cellules pesant 45 kg, contre 28 000 milliards (35 kg) chez une femme de 60 kg. Revue de détail. PAR VALENTIN FAIVRE

## RÉPARTITION DES DIVERS TYPES DE CELLULES SELON LEUR MASSE



**45 kg**

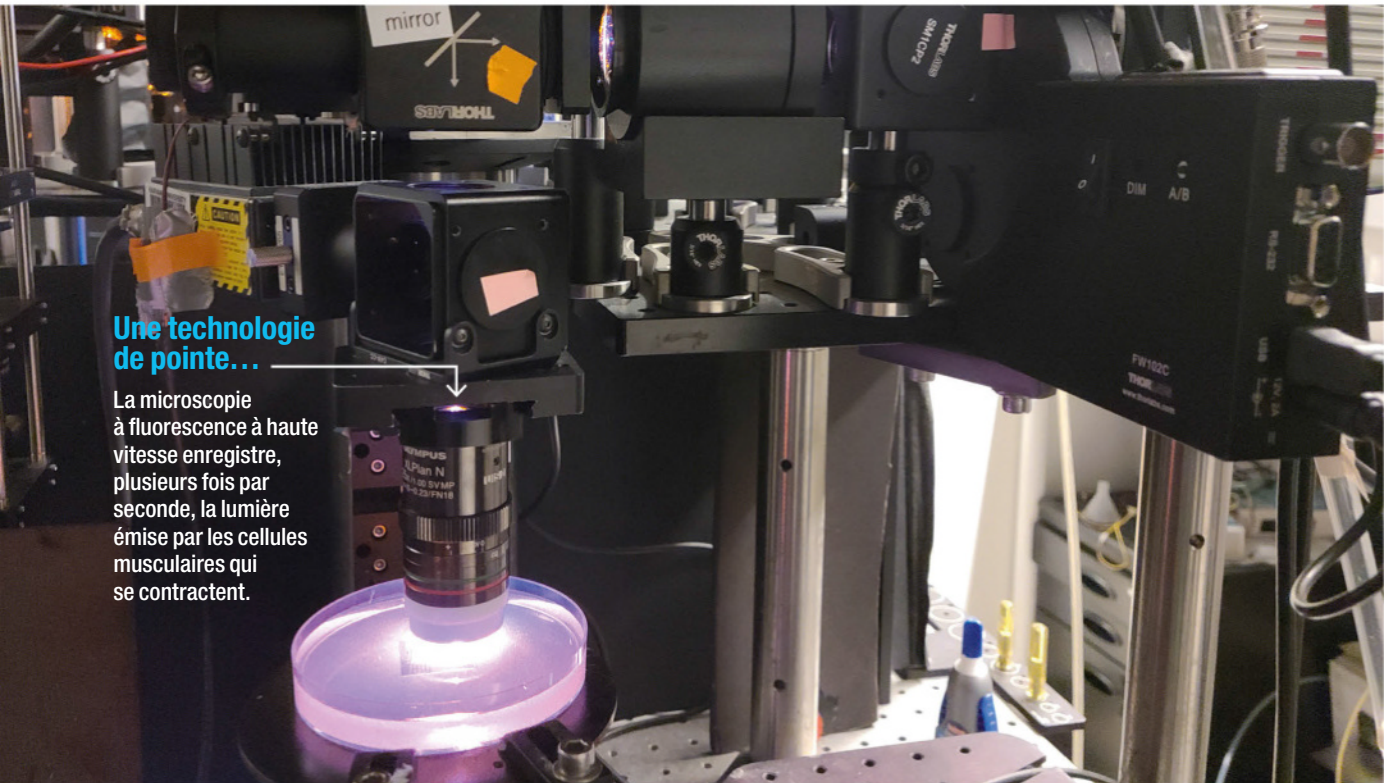
C'est la masse de toutes les cellules cumulées d'un homme de 70 kg (35 kg pour une femme de 60 kg).

### Les cellules musculaires écrasent toutes les autres

La masse cellulaire est largement dominée par les myocytes squelettiques, les cellules des fibres musculaires qui sont directement contrôlées par le système nerveux central. Peu nombreuses, elles comptent pourtant pour la moitié de la masse de toutes les cellules ! Chez un homme moyen, cela représente environ 21,5 kg, soit 31 % de la masse corporelle. Arrivent ensuite les adipocytes, des cellules spécialisées dans le stockage des graisses, qui pèsent en tout et en moyenne 12,4 kg.

### Ne pas oublier non plus le microbiote !

Non pris en compte dans cette étude, de très nombreuses bactéries, microchampignons et autres micro-organismes, notamment dans l'intestin ou sur la peau, composent le corps humain. De précédentes recherches israéliennes ont montré que le nombre total de bactéries hébergées dans cette communauté écologique complexe s'élèverait à 39 000 milliards d'individus – soit environ 1 bactérie pour 1 cellule corporelle – qui pèseraient au total de 1 à 5 kg.



### Une technologie de pointe...

La microscopie à fluorescence à haute vitesse enregistre, plusieurs fois par seconde, la lumière émise par les cellules musculaires qui se contractent.

#### BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

## ON A OBSERVÉ COMMENT S'ALLUME UN CŒUR

Des chercheurs ont filmé les cellules d'un cœur au moment où il se met à battre. Cette observation inédite, réalisée sur des poissons zèbres, bouscule notre vision des premiers instants de la vie.

PAR ANNE DEBROISE

C'est l'histoire de deux cellules qui fusionnent, se multiplient et forment un embryon. À l'intérieur, un cœur se constitue en silence. Et un beau jour, il se met à battre. Son mouvement régulier accompagnera l'individu jusqu'à la fin de sa vie. Mais comment survient le premier battement, celui qui entraînera tous les autres ? En l'observant chez des poissons zèbres, une équipe de l'université Harvard, aux États-Unis, en dévoile le secret.

Pourquoi chez des poissons zèbres ? *"Contrairement aux mammifères,*

*qui se développent à l'intérieur de l'organisme maternel, les œufs de poisson zèbre sont fertilisés et se développent à l'extérieur,* répond Sean Megason, un des auteurs. *De plus, ils sont transparents : on peut donc les placer sous un microscope et observer toutes les divisions cellulaires."*

Comme toutes les cellules musculaires, les cardiomyocytes se contractent lorsqu'elles sont envahies par des ions calcium, suite à une stimulation électrique. En injectant aux embryons transparents des pro-



... pour capter  
le battement originel

La mise en branle cardiaque est visible ici (*en rouge*) chez cet embryon de poisson zèbre (*en bleu*).

téines qui deviennent fluorescentes au contact des ions calcium, on peut voir briller une cellule qui se contracte. Et ainsi capter le moment unique du premier battement !

### UNE FANFARE ORGANISÉE

Les biologistes ont placé 18 embryons simultanément sous un microscope, et observé ce qu'il se passait, une vingtaine d'heures après la fécondation, dans leur cœur primitif en forme de cône. À ce stade, l'organe ne dispose pas encore de "pacemaker", cet ensemble de cellules qui,

dans un cœur mature, imposent leur rythme de battement aux autres. Plusieurs hypothèses étaient envisagées : une première cellule se met à battre, puis entraîne une seconde, jusqu'à ce que peu à peu tout le cœur se joigne à elles ; de faibles vibrations apparaissent un peu partout, puis s'amplifient et se synchronisent en coups plus puissants ; des battements émergent ici ou là dans l'organe primitif et fusionnent en se synchronisant... Toutes se sont révélées erronées.

"Nous avons été surpris, témoigne Sean Megason.

*Les cellules des embryons sont passées rapidement d'un état silencieux à un battement général et répété.*" Le cœur s'allume en fanfare bien orchestrée ! Autre surprise, note Lucile Miquerol, chercheuse en biologie du développement au CNRS et à l'université Aix-Marseille : "Ce premier battement ne démarre pas forcément dans la zone du futur pacemaker."

Selon les investigations menées, le cœur s'allumerait ainsi : les cardiomyocytes développent d'abord une activité électrique spontanée et

acquière la capacité à se contracter. Puis elles le font dès que cette excitation franchit un certain seuil, ou lorsque leur voisine se contracte. "La première qui atteint le seuil entraîne donc toutes les autres, en cascade", conclut Sean Megason.

Au départ irrégulier, le rythme cardiaque se stabilise rapidement dans l'heure suivant la première contraction. À ce moment, le cœur n'est pas encore connecté au circuit sanguin... mais il est déjà prêt à pomper le précieux liquide, jusqu'à son dernier battement.



## LAIT AU SHAKER, PAS À LA CUILLÈRE

En septembre, les serveurs du centre médical pour anciens combattants de Kansas City ont été effacés. Le coupable: un chat qui a sauté sur un clavier. Les serveurs ont certes été restaurés. Mais le chat refuse depuis de parler, c'est un dur. On ignore ses motivations.

# 99%

C'est le taux d'échec de Geolítica, un logiciel utilisé par la police américaine censé prédire les lieux et moments où des crimes pourraient se produire. Le

1% restant? Quand on balance plein de trucs faux, on finit par tomber sur un vrai par hasard...

## ON TOMBE DES NUES

Selon une étude anglaise, les SUV émettent en moyenne plus de CO<sub>2</sub> que les petites voitures d'il y a 10 ans; les 20% des Britanniques les plus riches sont 80% plus susceptibles de posséder un SUV que les autres; et ils roulent trois fois plus... Conclusion: ce sont les plus gros pollueurs. La surprise est totale.

SHUTTERSTOCK

## Ça ne dure qu'un an et c'est plein d'histoires à raconter!

Vous êtes boulanger, électricien ou encore plombier? L'Institut polaire français a peut-être un contrat d'un an pour vous dans une station de recherche en Antarctique! Bon, faut aimer le blanc et les manchots. Certains journalistes de la rédac ont en tout cas tenté une candidature spontanée – on ne sait jamais.

# ET ÇA NOUS FAIT DU BIEN!

## Le pire casse-tête chinois du monde

Juste après avoir récupéré la boîte contenant les précieux échantillons de l'astéroïde Bennu, les scientifiques l'ont placée dans un conteneur hermétique avec des outils pour l'ouvrir. Sauf que pour 2 des 35 vis scellant la boîte, aucun des tournevis ne va! Les galères à la Ikea, ça arrive à tout le monde... même à la Nasa.

## SCIENCE BIEN LÉCHÉE



Mais pourquoi diable les géologues lèchent-ils les pierres? Le monde entier se posait la question, le géologue Jan Zalasiewicz y répond enfin, raflant un Ig Nobel au passage: c'est pour humidifier leur surface et la rendre ainsi plus facilement observable. L'expert précise qu'il n'y a pas besoin de les lécher les jours de pluie. Malin.

## T'AS TA BATTERIE-COURGETTE?

Des chercheurs ont réussi à alimenter brièvement des ampoules LED en écrasant à mains nues une courge éponge.

Grâce à l'énergie créée par la déformation du légume, 8 nanoampères ont ainsi été émis. Fascinant, mais pas vraiment pratique.





## MON RITUEL KIWI

# Coup de soleil sur le petit déjeuner !

Qu'est-ce qui est jaune et qui donne la pêche pour la journée ? Un fruit doux et rond a aujourd'hui de plus en plus d'adeptes, c'est le kiwi jaune Zespri™ SunGold™. On fait les présentations ?

**I**l n'y a pas que dans les **petits déjeuners healthy** des réseaux sociaux que le kiwi jaune Zespri™ SunGold™ s'est imposé. Dans la vraie vie, celle où l'on n'a pas toujours le temps d'une séance de stretching ou la patience de se concocter un jus vert détox, ce surdoué des fruits a la cote. Pourquoi ? À la maison, le matin, c'est le **chouchou des enfants**, parce qu'il est aussi **doux au goût** qu'au toucher, qu'il se déguste à la cuillère et qu'il a juste la bonne taille pour les petits appétits. Les parents aussi lui disent merci. Et ils profitent aussi de cette mine de vitamines, qui booste le moral et la journée, et contribue au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

### PORTRAIT D'UN SURDOUÉ

Verts ou jaunes, les kiwis sont les délicieux fruits d'une liane, originaire de Chine. Les kiwis jaunes Zespri™ SunGold™ ont été récoltés dans

les vergers français et italiens début octobre. Gorgé de soleil, juteux à souhait, l'*actinidia deliciosa* (c'est son petit nom latin !) apporte sur nos tables du petit déjeuner un concentré de bienfaits naturels. Exceptionnellement riche en **vitamine C\***, c'est l'invité quotidien des matins qui vont bien, avec un thé ou un café, un yaourt, une tartine ou du granola.

### ZESPRI : LA QUALITÉ SOUS L'ÉTIQUETTE

On la repère facilement dans les rayons de notre magasin : la petite étiquette Zespri™ garantit une expérience réussie car la qualité est toujours au rendez-vous. Cultivés par des producteurs responsables, les kiwis jaunes Zespri™ SunGold™ sont cueillis au bon moment pour apporter le maximum de douceur et concentrer tous les **bienfaits naturels** du fruit. Frais et vitaminé, il est jaune et il a tout bon pour aider à bien démarrer la journée.

## 100% VITALITÉ !

Un kiwi jaune Zespri™ SunGold™ au **petit déjeuner** couvre 100 % des besoins quotidiens d'un adulte en vitamine C\*, ce qui contribue au bon fonctionnement du système immunitaire.

## BOOSTEZ VOTRE GRANOLA

Un kiwi jaune Zespri™ SunGold™ en tranches dans votre granola préféré, deux cuillères à soupe de miel, trois de fromage blanc maigre : votre petit déjeuner booster est prêt. Vous aussi !

Pour plus d'informations et d'idées recettes, rendez-vous sur **zespri.com**

**Frais et vitaminé, le kiwi jaune Zespri™ SunGold™ a tout bon pour bien aider à démarrer la journée.**

\*Le Kiwi jaune Zespri™ SunGold™ contient 152 mg de vitamine C pour 100 g.



# Maladie du foie gras

## L'épidémie invisible

### LES 3 CHIFFRES À RETENIR

8 millions

C'est, en France, le nombre de personnes ayant un foie considéré comme gras, c'est-à-dire comportant plus de 5 % de graisse dans ses cellules (hépatocytes). À ce stade, l'organe peut encore retrouver son état sain si le patient modifie ses habitudes alimentaires.

ALAIN APAYDIN/BABACA - M. KONTEUTE

900 000

C'est, parmi les 8 millions précédents, le nombre de personnes ayant une stéatose non-alcoolique (ou Nash). À ce stade, le surplus de gras du foie engendre une réaction immunitaire à l'origine d'une inflammation des tissus. Le foie durcit progressivement : c'est la fibrose.

220 000

C'est, parmi les 900 000 précédents, le nombre de personnes atteintes de pré-cirrhose, un état favorisant l'apparition de la cirrhose ou du cancer du foie. Selon les projections, ce nombre pourrait plus que doubler d'ici à 2030.

SOURCE : INSERM, 2018, COHORTE ÉPIDÉMIOLOGIQUE CONSTANSE

**Moins connus que ceux de l'alcool, les ravages du sucre sur le foie, porteurs d'un risque avéré de cirrhose, sont préoccupants.**

En cause, principalement, la "malbouffe" et ses corollaires : obésité, diabète, hypertension... Dans l'attente de traitements efficaces, le corps médical se concentre sur le dépistage et la prévention.

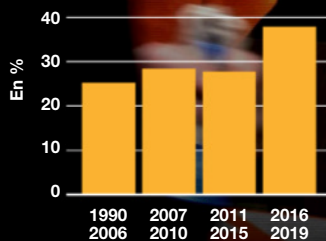
PAR HUGO LEROUX



**90%**

des personnes atteintes de foie gras et à risque ne sont pas diagnostiquées à temps, selon la Société nationale française de gastro-entérologie.

**PART DE LA POPULATION AYANT UN FOIE GRAS DANS LE MONDE**  
(Étude menée sur plus de 9 millions d'individus)



SOURCE : HEPATOLOGY, 2023

L'analogie dérange. Imaginer, au sein de notre propre corps, un organe retrouvé habituellement dans les assiettes, et surtout rendu intentionnellement malade via une spectaculaire technique de gavage des oies et des canards – le tube directement dans le gosier... Et puis quoi encore? Pourtant, la maladie du foie gras non alcoolique (ou NAFLD pour *Non-Alcoholic Fatty Liver Disease*) mérite son nom: le nôtre peut bien se retrouver saturé de graisse, exactement comme celui d'une oie gavée.

Plus encore, ce mal est massivement répandu aujourd'hui: 18% des adultes en France sont concernés, jusqu'à 30% aux États-Unis. "C'est une épidémie mondiale, et les chiffres sont en progression", alerte Laurent Castera, hépatologue à l'hôpital Beaujon de Clichy.

### ORGANE RÉSILIENT

Pourquoi n'en avons-nous pas – ou si peu – entendu parler? En fait, le foie, situé à l'interface du tube digestif et de la circulation sanguine, et dont le rôle est de traiter nutriments et toxiques (polluants, alcool...), est un organe extrêmement résilient. Il est même capable de régénérer des parties qui lui ont été enlevées afin de pouvoir continuer

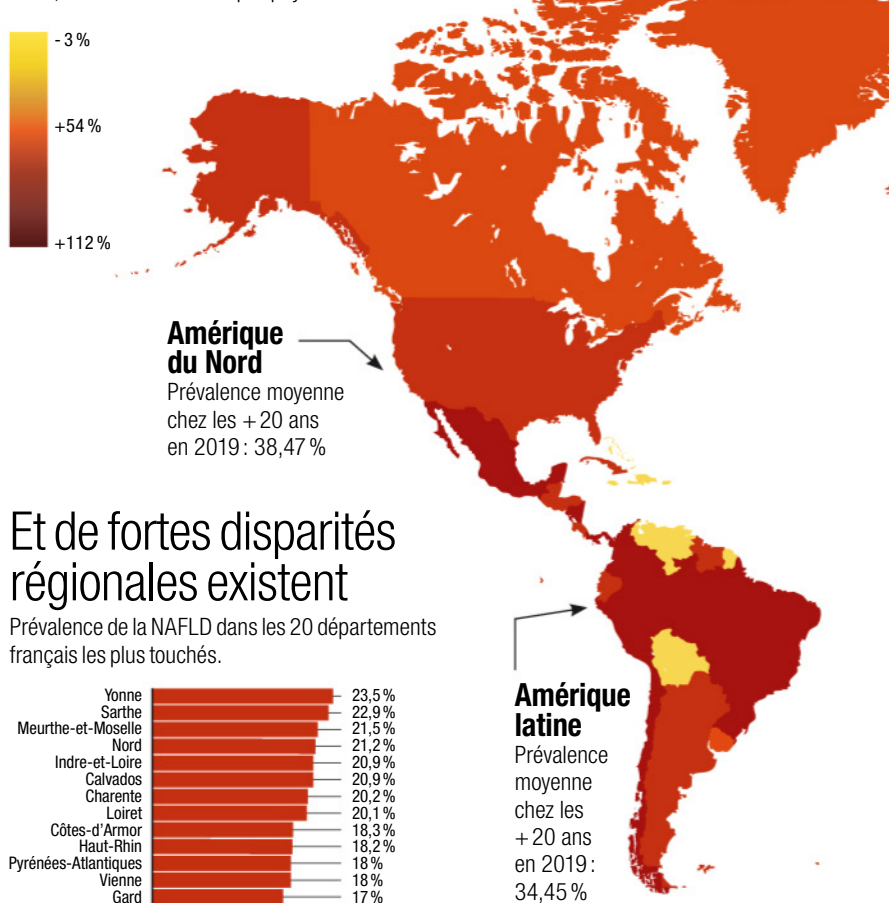
à fonctionner! Conséquence: la maladie du foie gras reste souvent sans symptômes, la majorité des porteurs ne s'en rendent jamais compte.

Le problème, c'est que dans 2% des cas, elle mène à de graves compli-

cations comme la cirrhose, avec le risque de développer un cancer du foie, "ce qui concernerait tout de même 220 000 adultes en France, et peut-être 400 000 dans trente ans", poursuit le spécialiste. La maladie est même en

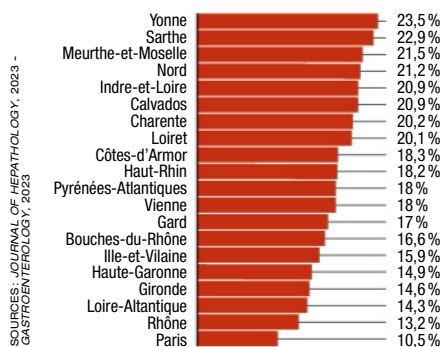
## L'épidémie de foie gras augmente presque partout

En %, le taux de variation par pays entre 1990 et 2019.

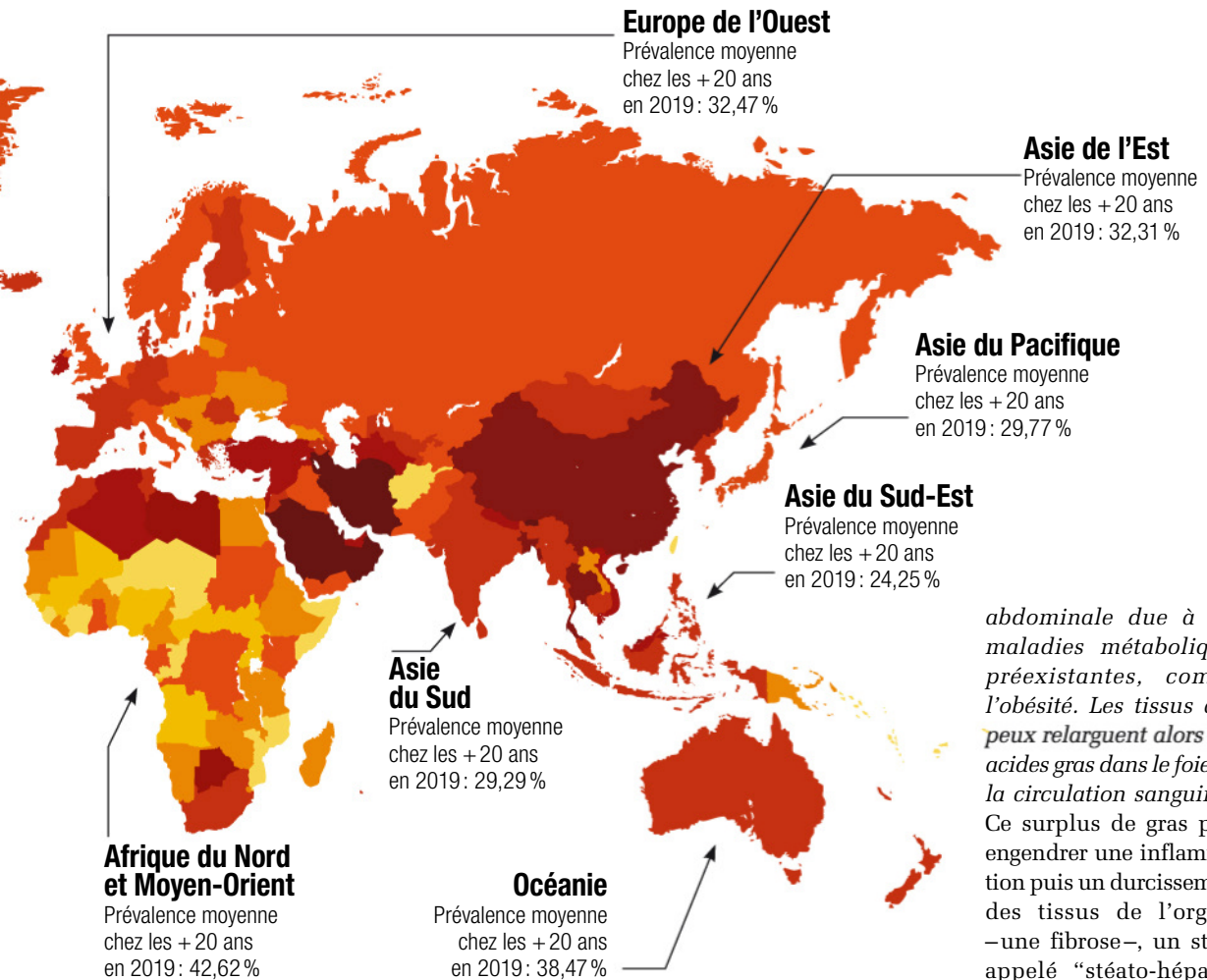


## Et de fortes disparités régionales existent

Prévalence de la NAFLD dans les 20 départements français les plus touchés.







*abdominale due à des maladies métaboliques préexistantes, comme l'obésité. Les tissus adipeux relarguent alors des acides gras dans le foie via la circulation sanguine."*

Ce surplus de gras peut engendrer une inflammation puis un durcissement des tissus de l'organe –une fibrose–, un stade appelé "stéato-hépatite non alcoolique" (ou Nash pour *Non-Alcoholic Steatohepatitis*). Ce dernier peut à son tour évoluer en cirrhose.

#### FACTEURS DE RISQUE

Il n'existe aucun test spécifique et direct pour détecter la stéato-hépatite. *"Ce que l'on peut faire, en revanche, c'est repérer des prédispositions à partir d'une poignée de facteurs de risque* →

tible de développer des complications est donc devenu un enjeu sanitaire majeur. Et un véritable défi: *"Cela revient à chercher une aiguille dans une botte de foin"*, résume l'expert.

La cause de l'épidémie est en tout cas connue: c'est une conséquence de la progression de la "malbouffe", en particulier de

la consommation excessive de sucres, que les cellules du foie transforment en gras. La stéatose a d'ailleurs été décrite pour la première fois il y a quarante ans, aux États-Unis, lorsque des médecins de la clinique Mayo ont identifié chez des patientes obèses et diabétiques des lésions du foie semblables à celles de personnes

alcooliques... sauf qu'elles ne buvaient pas. Certains l'ont alors surnommée la "maladie du soda". *"Une partie du gras est effectivement fabriquée par l'organe lui-même à partir de l'excès de sucres, commente Joel Haas, chercheur à l'Institut Pasteur de Lille. Mais la majorité provient d'un dysfonctionnement de la graisse*

*bien connus : surpoids ou obésité, diabète de type 2, hypertension artérielle et âge”, souligne Laurent Castera. “Pour se fixer les idées, si vous avez moins de 40 ans, que vous n’êtes ni diabétique, ni obèse, ni hypertendu, la probabilité d’être concerné est inférieure à 5%. A contrario, si vous cumulez tous ces facteurs de risque au-delà de 40 ans, la probabilité est supérieure à 80%.”* Comme pour l’obésité ou le diabète de type 2, les études épidémiologiques montrent d’ailleurs que la stéatose est plus fréquente chez les populations socio-économiquement défavorisées, qui ont généralement moins de liberté quant au choix de leur alimentation.

**DÉFAUT D’INFORMATION**

À ce stade, le médecin généraliste peut orienter le patient à risque vers un test gratuit nommé FIB-4, basé sur l’âge, les transaminases et le taux de plaquettes. Le score obtenu, de 0 à 10, permet d’éliminer une fibrose sévère ou une cirrhose lorsqu’il est inférieur à 1,3. Problème : une partie des médecins généralistes ne pensent pas encore à évaluer le risque de foie gras chez leurs patients, et donc à les diriger vers ce test. Selon la Société française de gastro-entérologie, 90% des malades à risque ne sont ainsi pas diagnostiqués à temps! “Il reste un gros travail d’infor-

mation à réaliser auprès des généralistes, mais aussi du grand public”, conclut Laurent Castera. Sachant que le casetête du parcours patient ne s’arrête pas là. Sur la masse de patients ayant

un FIB-4 supérieur à 1,3, donc à risque de fibrose sévère, une grande majorité ne développera pas de complications graves comme une cirrhose ou un cancer... D’où la nécessité d’un test complémen-

taire pour affiner encore la prévision.

Bonne nouvelle, cet examen existe: il s’agit du Fibroscan, un appareil ressemblant à un échographe et mesurant l’élasticité du foie sur une échelle de 2

## Des causes bien connues et des solutions à mettre en place

### Les mauvaises habitudes alimentaires

Entre perte des savoir-faire culinaires et manque de temps, les Français se tournent davantage vers les produits industriels. Or les indicateurs sont alarmants : ils consomment aujourd’hui 95 g/j de sucres simples contre 50 maximum recommandés, et 36 g/j d’acides gras saturés, contre 27 maximum recommandés.



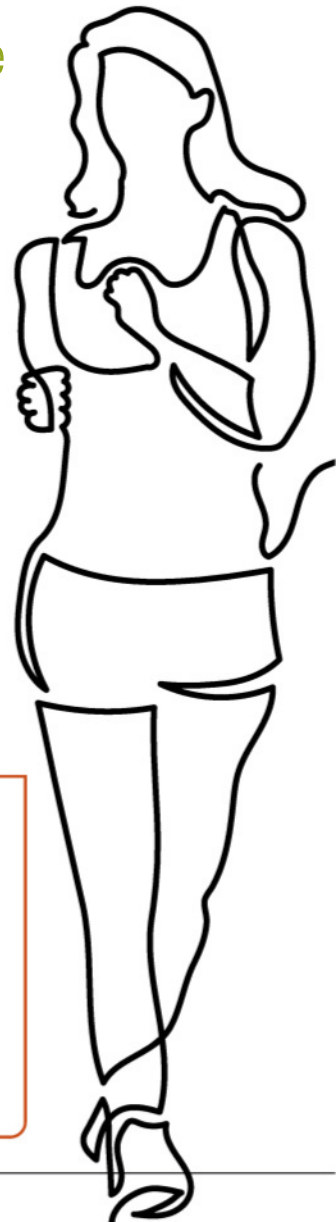
### Les maladies métaboliques galopantes

Un Français adulte sur deux est en surpoids, 7 millions sont obèses, 4 millions souffrent de diabète de type 2, 17 millions d’hypertension artérielle. Ces pathologies découlant en grande partie de la malbouffe sont des facteurs de risque pour la maladie du foie gras.



### L’activité physique en chute libre

Plus d’un tiers des Français cumulent un niveau de sédentarité élevé – le temps passé assis est en moyenne de 7 heures – et une activité physique insuffisante. Il est en effet recommandé de pratiquer au moins 30 minutes, 5 fois par semaine, une activité cardio-respiratoire – faire du vélo, marcher à bonne allure... – et d’effectuer du renforcement musculaire 1 à 2 fois par semaine – porter une charge lourde, faire de la natation... En cause, notamment : des temps d’écran excessifs.



à 75. “Un foie normal a la consistance d’une balle en mousse ; un foie fibrosé celle d’une balle de tennis ; et s’il est à un stade avancé celle d’une balle de golf”, schématise Jérôme Boursier. Au-delà d’un

score de 15, la probabilité d’avoir un stade avancé de fibrose est importante, ce qui permet d’orienter correctement le patient vers un hépatologue pour un traitement adapté. “La mauvaise nouvelle, c’est

que cet examen n’est pas disponible dans tous les hôpitaux”, déplore le chercheur. Son usage est donc aujourd’hui restreint aux services spécialisés en gastro-entérologie et hépatologie. Et son coût de 31 €

n’est pas remboursé dans le cadre du dépistage de la Nash, bien qu’une demande soit en cours d’instruction auprès de la Haute Autorité de santé.

Ce parcours patient, séquençant facteurs de risques, FIB-4 et fibroscan, a fait ses preuves au Royaume-Uni, mais reste trop rare en France. Il paraît pourtant indispensable : si les porteurs de Nash sont pris en charge à temps, la fibrose de leur foie peut en effet reculer !



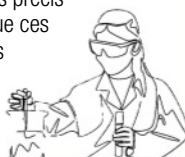
### Adopter un mode de vie sain

En prévention, la priorité est de contrôler la graisse abdominale, qui se déverse directement dans le foie. Cela passe par une alimentation équilibrée (riche en produits végétaux, réduite en aliments et boissons sucrés) et un bon niveau d’activité sportive, tout en réduisant les facteurs aggravants comme l’alcool ou les barbecues.



### Développer le dépistage

Une analyse de sang ou une échographie du foie peuvent orienter le médecin généraliste. Celui-ci peut ensuite prescrire un test plus précis comme le FIB-4. Encore faut-il que ces réflexes soient implantés dans les pratiques médicales et la connaissance du public.



### Multiplier les politiques publiques

La responsabilité n’est pas qu’individuelle, comme le montre l’incidence plus forte de foie gras dans les populations défavorisées. Des politiques publiques comme la promotion des pratiques sportives, la limitation du taux de sucres dans les produits industriels ou la généralisation du Nutriscore sur les produits pourraient avoir un impact positif sur la maladie du foie gras – et les maladies métaboliques en général.



### PERDRE DU POIDS

La perte durable de poids se révèle par exemple un traitement efficace : “Moyennant 10 % de perte de masse corporelle, la fibrose se réduit significativement”, confirme Joel Haas. Le changement d’habitudes nécessaire pour y parvenir est cependant difficile à installer : seul 1 patient sur 10 parvient à modifier durablement son alimentation et à augmenter son niveau d’activité physique... La chirurgie bariatrique, qui consiste à réduire la taille de l’estomac, fonctionne aussi, mais cette mesure radicale n’est prescrite qu’en cas d’obésité sévère. Enfin, une solution médicamenteuse a récemment fait son apparition.

C’est un soulagement : ces dernières années, en effet, plusieurs traitements prometteurs avaient échoué en phase III, ultime étape de leur étude, →

réalisée dans plusieurs hôpitaux face à un traitement placebo. Beaucoup visaient des mécanismes internes au foie, comme le ralentissement de la lipogénèse, c'est-à-dire la synthèse d'acide gras à partir du glucose absorbé.

Mais voilà que, fin 2022, le médicament nommé Resmetirom a finalement franchi cette dernière étape. La molécule cible

patients. Si bien qu'il est aujourd'hui en procédure de demande d'approbation accélérée par l'autorité du médicament américaine (FDA). *"Il faudra compter deux ans supplémentaire pour qu'il soit étudié par l'Agence du médicament en France"*, estime Laurent Castera.

D'autres médicaments pourraient, à l'avenir, étoffer cette panoplie de

des récepteurs du GLP-1", qui permettent de lutter contre l'insulinorésistance et d'accentuer la satiété, semble à ce titre particulièrement intéressante.

### LE RÔLE DU MICROBIOTE

Enfin, l'étude des mécanismes fondamentaux de la maladie pourrait aussi conduire vers de nouvelles pistes. *"On ne sait toujours pas pourquoi,*



**LAURENT CASTERA**  
Hépatologue à l'hôpital Beaujon de Clichy

*Il reste un gros travail d'information à réaliser auprès des généralistes, mais aussi du grand public*

## Des répercussions sur le cerveau ?

C'est ce que suggère une étude publiée en 2023 par Luc Pellerin, de l'université de Poitiers : la stéatose pourrait favoriser l'émergence de maladies neurologiques telles que la démence ou la dépression. Son équipe a administré un régime "obésogène" à des souris génétiquement modifiées pour exprimer moitié moins de MCT1, une protéine à la fois impliquée dans l'alimentation des neurones et dans le stockage de graisses au niveau du foie, ainsi qu'à des souris "normales". Résultat : les premières ne développaient ni stéatose hépatique ni signes de dépression, au contraire des secondes, chez qui les deux maux étaient associés. *"Même quand le foie est asymptomatique, la graisse pourrait donc entraîner un effet délétère sur le cerveau"*, conclut le chercheur.

les récepteurs bêta des hormones thyroïdiennes, récepteurs localisés spécifiquement dans le foie. En activant ces récepteurs, les hormones thyroïdiennes jouent un rôle clé dans le métabolisme des lipides ; le Resmetirom augmente donc la transformation des graisses dans l'organisme et réduit leur toxicité pour le foie. Il permet ainsi un recul de la Nash dans 30% des cas (contre 10% pour le placebo), d'après les résultats de l'étude menée sur un millier de

traitements. La Nash ayant des mécanismes communs avec le diabète ou l'obésité, les chercheurs testent par exemple des molécules déjà efficaces pour ces maladies. *"Ces approches ne cherchent plus à agir spécifiquement sur le foie, mais à modifier plus globalement le métabolisme et favoriser la perte de poids"*, schématise Laurent Castera. *"L'avantage, c'est que les effets secondaires sont déjà connus et limités."* La famille des "agonistes

*chez certaines personnes, l'excédent de gras dans le foie mène à un emballement du système immunitaire, une inflammation puis une fibrose"*, rappelle Joel Haas. Le chercheur étudie notamment l'action des cellules dendritiques, qui jouent un rôle clé dans la régulation des réactions immunitaires : *"Or elles semblent moins activées chez les personnes atteintes de Nash"*, souligne-t-il.

L'influence des populations bactériennes de

nos intestins, le fameux microbiote, est également scrutée. L'équipe de Rémy Burcelin, directeur de recherche à l'Inserm, a ainsi montré qu'une mauvaise nutrition favorise certaines populations bactériennes, qui vont à leur tour surproduire un composé délétère nommé LPS. *"En passant dans le foie, ce LPS bactérien envoie alors un signal de stockage de gras à long terme"*, décrit le scientifique. De quoi imaginer d'autres voies thérapeutiques : *"On pourrait éliminer les bactéries qui génèrent le LPS délétère, ou bloquer sa réception par les cellules du foie"*, propose Rémy Burcelin. Autant de perspectives qui donnent de l'espoir aux patients. Encore faut-il qu'ils prennent conscience de leur état.



# PRIX DU JEUNE JOURNALISTE SCIENTIFIQUE

SCIENCE & VIE



## PARTICIPEZ DÈS À PRÉSENT À NOTRE CONCOURS

Le Prix du jeune journaliste scientifique *Science & Vie* est **ouvert à tout candidat suivant actuellement une formation scientifique et/ou en communication/médiation/journalisme scientifique**, ou bien justifiant d'une activité professionnelle de journaliste scientifique de moins d'un an.

**À GAGNER Un prix de 1000 €**

&

L'accompagnement du lauréat par la rédaction pendant une année

La publication de votre article dans notre magazine

La participation au comité scientifique *Science & Vie*

**Pour participer**, envoyez à la rédaction **un article original**, jamais publié, traitant de l'actualité scientifique, **de 7 000 signes**. Le travail présenté doit se référer au minimum **à une étude scientifique** tous domaines confondus (de la paléanthropologie à la physique des particules) et publiée l'année en cours (voir modalités précises dans notre règlement).

- **Par mail** à [prix.journaliste.SV@reworldmedia.com](mailto:prix.journaliste.SV@reworldmedia.com)
- **Par courrier** à Science & Vie - Prix du jeune journaliste scientifique, 40 avenue Aristide Briand, CS 10024, 92227 Bagneux Cedex



Règlement ici ou sur simple demande par mail :  
[prix.journaliste.SV@reworldmedia.com](mailto:prix.journaliste.SV@reworldmedia.com)

**LANCEMENT DE LA 2<sup>e</sup> ÉDITION !**

# Les cours d'eau sont des usines à méthane

## Groenland

Celui où la fonte des glaces risque d'amplifier le phénomène

Les données manquent encore dans les régions arides et polaires, mais des travaux de 2019 ont révélé un flux de méthane (de 0,07 à 0,45 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour) émanant, l'été, de rivières sous-glaciaires. Sous des kilomètres de glace vivent des micro-organismes capables de consommer le carbone contenu dans de la matière organique ancestrale pour relâcher du CH<sub>4</sub>.

## France

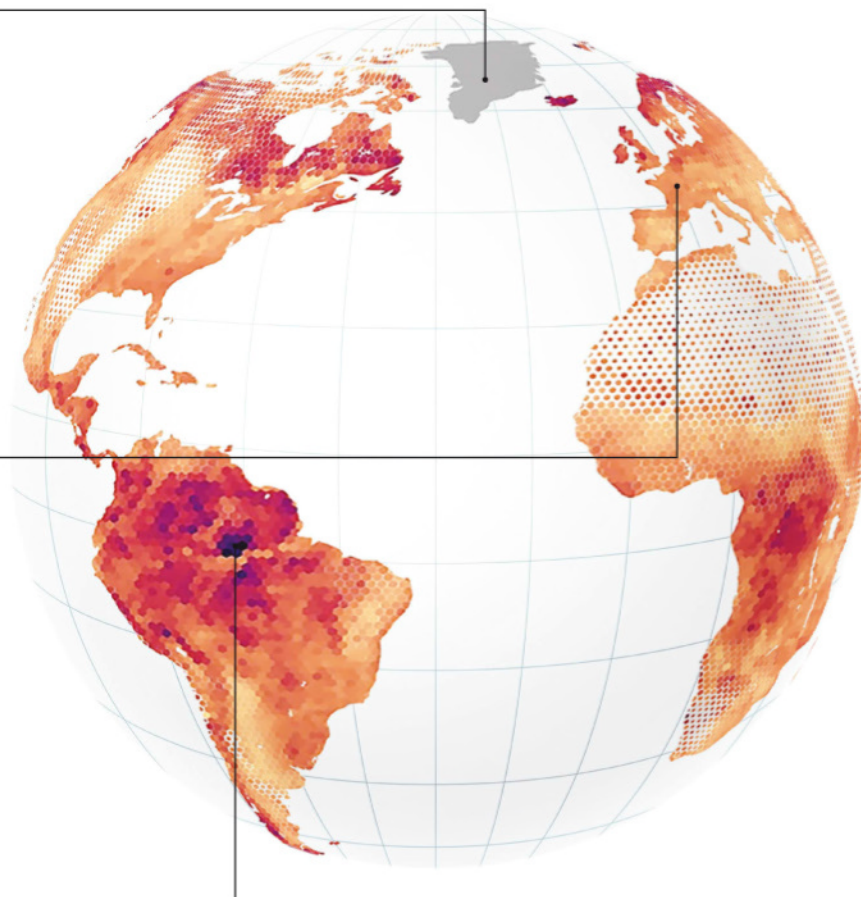
Celle où les émissions restent limitées

Les cours d'eau français, comme ceux des latitudes moyennes, n'émettent généralement que peu de méthane. Toutefois, l'étude révèle l'existence de points chauds au niveau des barrages hydroélectriques : ainsi, celui d'Éguzon, sur la Creuse, émet 0,2 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour. En cause ? La matière organique qui se retrouve concentrée dans ces réservoirs, ce qui favorise la production de méthane.

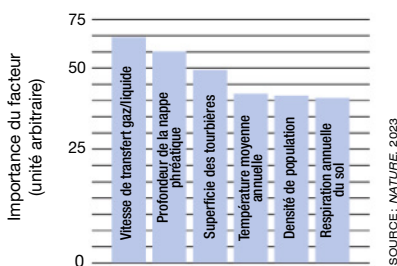
## Brésil

Celui dont les forêts et les montagnes boostent les rejets

L'Amazone est un grand émetteur (0,1 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour). Deux raisons à cela : le fleuve traverse la plus grande forêt tropicale de la planète, drainant quantité de matières organiques. De plus, il est chargé en particules minérales issues de l'érosion de la cordillère des Andes, à 3 000 km en amont, ce qui favorise les émissions de CH<sub>4</sub>.



PRINCIPAUX FACTEURS FAVORISANT LES ÉMISSIONS DE MÉTHANE



## Des émissions aux origines multifactorielles

Contrairement à ce que les scientifiques pensaient, la chaleur n'est pas la première cause des émissions de CH<sub>4</sub> issues des rivières. Celles-ci sont plutôt liées au type d'écosystème auquel elles sont rattachées. Les activités humaines (barrages ou stations d'épuration) jouent aussi un rôle important.

ANYFORMS DESIGN - M. KONTENTE

SOURCE : NATURE, 2023

## Une équipe internationale de chercheurs vient de cartographier les émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) provenant des différents cours d'eau à travers le monde.

Ce puissant gaz à effet de serre est produit naturellement quand la matière organique – soit des composés carbonés d'origine animale ou végétale – fermente sous l'action de micro-organismes. Les activités humaines tendent à intensifier ces émissions. PAR LISE GOUGIS



### Suède

Celle où les émissions sont étonnamment hautes

Certaines rivières de la toundra suédoise, mais aussi d'Islande et de Sibérie, émettent presque autant que celles de régions tropicales, soit 0,1 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour. La raison : leurs connexions avec les marais. Ces écosystèmes, pauvres en oxygène et remplis de matière organique, restent la principale source naturelle de CH<sub>4</sub> dans l'atmosphère.

### Bangladesh

Celui où le facteur humain pèse le plus

La rivière Shitalakshya, qui borde la capitale Dhaka, émet près de 14 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour ! Des chiffres records dus à la forte concentration de population – 13 millions d'habitants – sur ses rives. L'eau de la rivière est utilisée quotidiennement pour l'irrigation des cultures et la consommation domestique, avant d'être rejetée dans son cours, chargée de matière organique (végétaux, matières fécales, etc.).

### République démocratique du Congo

Celle où les flux vont s'aggraver

Le fleuve Congo est alimenté en matière organique par la forêt tropicale qu'il borde, en permanence inondée. Il émet donc beaucoup de méthane (0,3 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour). Ces émissions devraient augmenter avec la hausse démographique ces prochaines années, la création de nouveaux barrages entraînant l'accumulation de matière organique.

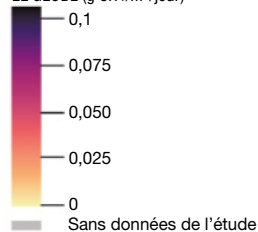
# 27,9

C'est, en mégatonnes (Mt), la quantité moyenne de méthane rejetée par les cours d'eau dans l'atmosphère chaque année, soit 5% du total. Les émissions anthropiques représentent, elles, 400 Mt, soit 60% des émissions globales.

# 1908

C'est, en parties par milliard, la concentration atmosphérique en méthane en 2021. Soit +262% par rapport à l'ère préindustrielle. (*Organisation météorologique mondiale*)

QUANTITÉ DE MÉTHANE ÉMISE PAR LES COURS D'EAU À TRAVERS LE GLOBE (g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/jour)



# L'étrange affaire... des cercles de fées à travers le monde



## Rappel des faits

Des chercheurs espagnols ont publié un atlas de ces mystérieux disques de terre nue entourés de végétation et mesurant plusieurs mètres de diamètre. Et, surprise, ils sont plus répandus que prévu !

Jusque-là, les cercles de fées étaient essentiellement recensés en Namibie et en Australie. Mais voilà qu'en utilisant une intelligence artificielle sur des centaines de milliers d'images satellite, une équipe de l'université d'Alicante, en Espagne, vient de révéler que ces mystérieux disques de terre entourés d'un cercle de végétation sont en fait bien plus répandus.

Pas moins de 263 sites – contre quelques dizaines auparavant – ont été identifiés dans 15 pays et sur 3 continents, du Sahel à l'Asie du Sud-Est. Les environnements concernés sont arides (précipitations moyennes annuelles inférieures à 200 mm) et le sol, riche en sable, est pauvre en nutriments.

Pour autant, la façon dont se forment ces motifs demeure mystérieuse. Les hypothèses vont bon train et divisent : dans une étude publiée en juillet, Norbert Jürgens, de l'université allemande de Hambourg, affirme par exemple que les termites en sont la cause.



^ Il existerait 263 sites, répartis sur 15 pays (ici, en Namibie).

Au milieu de chaque cercle de fées vivrait une colonie qui se nourrirait des racines des plantes : la végétation au centre finirait par mourir, créant le disque de terre nue. La théorie n'est pas nou-

velle, et a longtemps été critiquée par la communauté scientifique... Mais cette fois, le chercheur a démontré la présence des insectes dans plus de 1 700 cercles de fées parsemant la côte namibienne !

Stephan Getzin, de l'université allemande

*cause des termites : leurs racines n'étaient pas endommagées.* Selon lui, ces motifs résulteraient plutôt d'une stratégie de la végétation pour maximiser les rares ressources en eau. Au centre de chaque cercle se trouverait un réservoir, que les plantes en périphérie pomperaient rapidement grâce à leurs racines profondes, causant la mort de celles du centre.

Encore faut-il déterminer pourquoi les plantes les plus éloignées du point d'eau auraient l'avantage sur celles situées juste au-dessus... *"De plus, c'est physiquement impossible,* rétorque Norbert Jürgens. *Le niveau d'humidité du sol est très faible : il n'y a pas assez d'eau pour permettre un*

## En bref

40

C'est le taux d'espèces d'amphibiens en danger d'extinction, d'après une nouvelle étude, ce qui en ferait la classe de vertébrés la plus menacée de toutes. En cause ? L'urbanisation, l'agriculture, ainsi que l'expansion de certains champignons du genre *Batrachochytrium*, capables de parasiter grenouilles, crapauds et salamandres.

21,4

C'est, en millions, le nombre de Français qui se connectent chaque mois à TikTok, selon un rapport publié par l'entreprise chinoise. L'Hexagone est donc le pays de l'Union européenne comptant le plus d'utilisateurs de ce réseau social, devant l'Allemagne (20,9 millions) et l'Italie (19,7 millions).





transport horizontal sur des mètres pendant plusieurs jours. Même après de fortes pluies, l'eau s'infiltrait trop vite dans les profondeurs."

#### PAS SI SEMBLABLES

Reste une troisième hypothèse : l'hydrogène. Beaucoup de cercles de fées s'accompagnent en effet d'un dégagement gazeux, qui pourrait jouer un rôle dans la formation des motifs en favorisant ou en entravant la survie des plantes. "Il faut se rendre à l'évidence : il est impossible de trouver une unique cause à toutes ces formations qui, même si elles se ressemblent, sont dans le détail assez différentes", conclut Norbert Jürgens. Autrement dit, il pourrait y avoir autant d'explications que de cercles. Les nouveaux sites ne font qu'épaissir encore le mystère... **Lise Gougis**

#FAKENEWS

SHUTTERSTOCK/FELIX LIPOV - ILLUSTRATION TONWEN JONES/COLAGENE - SHUTTERSTOCK



## Non, les chercheurs ne font pas regarder du porno aux enfants

C'est pourtant ce qu'a affirmé une psychologue, début octobre, sur la chaîne CNews. Lorsqu'il lui a été demandé comment étaient évaluées les conséquences de la pornographie sur le cerveau des enfants, elle a répondu : "Par des expériences neurobiologiques. Vous faites visionner des images porno à des mineurs avec des capteurs sur le cerveau." Sauf que cela ne se passe absolument pas ainsi ! "On ne fait pas visionner des contenus pornographiques à des enfants, ce serait de la maltraitance, réagit Ludi Demol Defe, doctorante à l'université Paris 8 et spécialiste de la consommation pornographique chez les jeunes. De plus, d'un point de vue scientifique, les mesures cérébrales récoltées grâce à des

capteurs ne nous apprendraient pas grand-chose quant à l'influence de la pornographie ou sur le rapport que les gens entretiennent à leur intimité." Ces images cérébrales ne montreraient en effet que l'activation ou non de certaines zones. En réalité, concernant la pornographie, les méthodologies sont bien différentes : il s'agit d'études quantitatives, avec des questionnaires, ou qualitatives, par des entretiens ou observations sur les pratiques et usages des médias. Par ailleurs, contrairement à ce qu'a dit la psychologue, "aucun lien de causalité n'a été établi entre le visionnage de contenus pornographiques chez les jeunes et des comportements violents", ajoute la chercheuse. On est loin d'Orange mécanique... **C.Mauger**

91

C'est la part de stations de ski européennes qui n'auront plus de neige naturelle d'ici à 2100, si on atteint les 3°C de réchauffement, avance une étude. Cela représente 2033 sites, soit environ la moitié des stations de ski du monde. Dans les Alpes françaises, ce taux monterait même à 93 %.

236

C'est le nombre de satellites de Starlink, parmi les 5 000 déployés en orbite basse dans l'atmosphère terrestre, qui ont mystérieusement disparu des radars entre juillet et septembre 2023. À l'heure où nous écrivons ces lignes, SpaceX n'a toujours pas communiqué sur les raisons de cet évanouissement.

# Le jour où la France a déployé des éoliennes flottantes

## 1 | Une première en France...

Si une éolienne flottante expérimentale tourne depuis 2020 au large du Croisic, en Loire-Atlantique, les trois exemplaires installés à Fos-sur-Mer par EDF Renouvelables forment le tout premier parc commercial en France. D'une puissance unitaire de 8 MW, elles injecteront sur le réseau l'équivalent de la consommation électrique d'une ville de 45 000 habitants à partir de début 2024. D'autres pays, comme l'Écosse, le Portugal ou la Norvège, disposent déjà de parcs éoliens flottants plus importants.

## 2 | ... qui vient compléter l'éolien fixe

Les éoliennes flottantes ne nécessitent ni forages, ni piliers, et peuvent donc être installées dans des zones maritimes de grande profondeur (entre 50 et 120 m). Or de nombreux fonds marins chutent vite lorsque l'on s'éloigne des côtes – notamment en Bretagne ou en Méditerranée –, se révélant de ce fait inaccessibles aux éoliennes maritimes fixes (moins de 50 m). *“75% du potentiel français d'éolien en mer ne peut être exploité que par le flottant”*, estime Vincent Guénard, animateur pôle Éolien et énergies marines à l'Ademe.

## 3 | Le flottant devra participer à la transition énergétique

Le développement massif de l'éolien en mer – deux fois plus productif que son équivalent terrestre – est indispensable pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050. En février 2022, Emmanuel Macron avait ainsi annoncé l'objectif de bâtir 50 parcs en mer afin de fournir 40 GW d'électricité d'ici à 2050, contre 0,5 GW opérationnels à ce jour. Une course contre la montre car les temps de mise en service sont longs : le projet Provence Grand Large a débuté il y a dix ans.



**Le parc éolien Provence Grand Large a été inauguré en Méditerranée, à 17 km au large du golfe de Fos-sur-Mer, dans les Bouches-du-Rhône.** C'est le premier site français doté d'éoliennes flottantes, une technologie émergente qui devrait permettre d'exploiter le plein potentiel de l'éolien maritime.

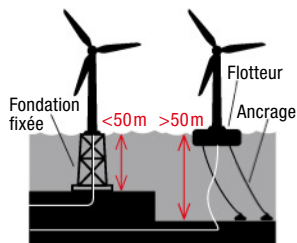
PAR HUGO LEROUX

4

### Mais la filière industrielle est encore naissante...

L'éolien flottant coûte cher –240 €/MWh, contre environ 50 €/MWh pour l'éolien maritime fixe— puisque toute la chaîne industrielle reste à créer. *“Un défi majeur sera d'aménager les ports pour stocker et assembler ces éoliennes sur place, chaque flotteur pouvant peser 20 000 t de béton ou 7 000 t de métal”*, illustre Vincent Guénard. Les éoliennes de Fos-sur-Mer reposent par exemple sur d'énormes tripodes en acier, raccrochés par des câbles sous-marins tendus à d'immenses disques d'acier

posés au fond de l'eau. Mais d'autres systèmes sont actuellement testés à travers le monde. *“Et il faudra du temps avant de standardiser tout cela”*, estime le spécialiste.

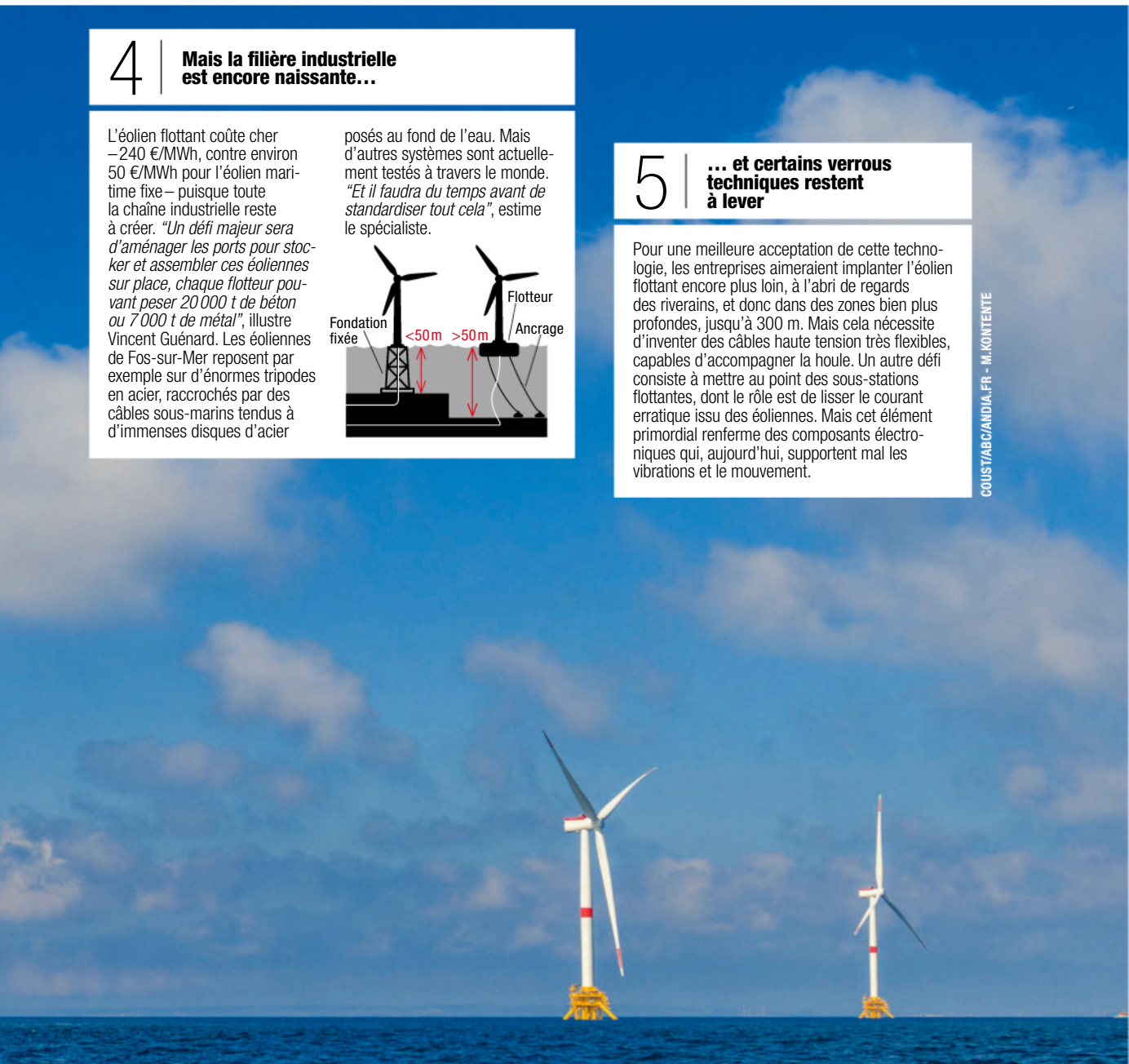


5

### ... et certains verrous techniques restent à lever

Pour une meilleure acceptation de cette technologie, les entreprises aimeraient implanter l'éolien flottant encore plus loin, à l'abri de regards des riverains, et donc dans des zones bien plus profondes, jusqu'à 300 m. Mais cela nécessite d'inventer des câbles haute tension très flexibles, capables d'accompagner la houle. Un autre défi consiste à mettre au point des sous-stations flottantes, dont le rôle est de lisser le courant erratique issu des éoliennes. Mais cet élément primordial renferme des composants électroniques qui, aujourd'hui, supportent mal les vibrations et le mouvement.

COUST/ABC/ANDIA.FR - M. KONTEINTE



# Le technosolutionnisme est-il une voie sans issue ?

**C**et été, un rapport de l'Académie des technologies a jeté un pavé dans la mare : pour mener à bien la transition écologique et atteindre les objectifs climatiques, l'innovation seule serait insuffisante et la sobriété incontournable. Est-il donc temps d'en finir avec le technosolutionnisme, ce courant de pensée qui ne jure que par le génie humain et les révolutions technologiques ? D'un côté, cette vision nous a jusqu'à ici poussés à ignorer l'épineuse question des changements de nos modes de vie. De l'autre, les innovations sont plus que jamais nécessaires pour aider à décarboner nos sociétés. Alors, quelle place accorder à la technologie ? Deux experts débattent.



**AURÉLIEN BOUTAUD**

Chercheur à l'UMR Environnement ville et société du CNRS, consultant en accompagnement des politiques publiques en matière de transition écologique.



## Science & Vie : D'où vient l'idée que la technologie serait la solution à tous nos problèmes écologiques et économiques ?

**Aurélien Boutaud :** Il faut revenir en 1972, lorsque paraît le rapport Meadows. Celui-ci pose une question centrale : les limites physiques de la planète imposeront-elles une limite à la croissance économique et démographique de l'humanité ? Depuis 50 ans, des économistes tentent donc d'élaborer des modèles théoriques pour montrer que oui, une croissance infinie est possible dans un monde fini. Avec

un argument majeur : nous disposons d'une ressource infinie, l'ingéniosité humaine. Celle-ci nous permettrait de toujours trouver des solutions techniques ou technologiques pour repousser les limites. **Robin Girard :** Il y a un problème à vouloir séparer à tout prix les solutions, comme si d'un côté, il y avait un monde où tous les excès seraient permis grâce à la technologie, et

de l'autre, un monde où elle n'aurait aucun rôle à jouer. Aujourd'hui, la communauté scientifique s'accorde sur le fait que sans le déploiement des énergies renouvelables, des véhicules électriques et des pompes à chaleur ; sans la rénovation des bâtiments, la transformation de l'industrie et de notre manière de produire le ciment ou l'acier, nous n'avons aucune chance

de réduire nos émissions de gaz à effet de serre. L'idée que la technologie est une importante solution vient de là. Cela ne signifie pas qu'elle soit suffisante, mais elle est absolument nécessaire.

## S&V : Alors quelle place donner à la technologie, notamment dans la transition énergétique ?

**A.B. :** En misant tout sur l'innovation technologique, on évite de remettre en question nos modes de vie et la façon dont fonctionne notre économie, en particulier notre dépendance à la crois-

*“Il faudrait produire mieux grâce à la technologie, mais aussi consommer moins en changeant nos comportements”*

AURÉLIEN BOUTAUD

## La foi en l'innovation technologique pour répondre aux défis environnementaux bat de l'aile.

De plus en plus, c'est le fait d'agir sur nos comportements qui s'impose comme nécessité. Difficile, pourtant, d'imaginer la conduite de véritables changements sans un accompagnement technologique adapté... PAR THOMAS ALLARD



**ROBIN GIRARD**

Chercheur à Mines Paris-PSL, responsable scientifique du think tank Zenon, un groupe de réflexion spécialisé dans le rôle des technologies climatiques.

sance. Cette forme de "conservatisme technologique" permet à ses promoteurs d'ignorer, voire de mépriser les innovations sociales, économiques et politiques qui nous seraient pourtant nécessaires, notamment en vue de mener une véritable politique de sobriété. Car, certes, il faudrait produire mieux grâce à la technologie, mais il faudrait aussi consommer moins en changeant nos comportements. R.G. : Je crains qu'une certaine forme de méfiance vis-à-vis de la technologie nous

*"Se méfier de la technologie risque de nous empêcher de mettre en place les moyens nécessaires à la transition énergétique"*

ROBIN GIRARD

empêche de mettre en place les moyens nécessaires à la transition énergétique. L'électrification directe des usages, par exemple, fera considérablement baisser notre consommation d'énergie, bien plus que la sobriété. Mais je suis d'accord, la technologie ne pourra pas tout faire. Il faudra également changer nos comportements, notamment nos modes de transport et notre alimentation.

**S&V: La solution passe-t-elle donc avant tout par une décroissance économique ?**

A.B. : Certains économistes travaillent actuellement sur des modèles qui ne dépendent plus de la croissance. La question est de décider de ce que l'on fait des gains de productivité : doivent-ils toujours servir à produire et consommer plus ? Dans un modèle économique fondé sur la croissance,

le risque est que les gains d'efficacité énergétique et écologique soient quasi systématiquement absorbés par une augmentation de la consommation. Ainsi, si ma voiture consomme moins, je vais en profiter pour parcourir plus de kilomètres ou prendre plus souvent l'avion. C'est un "effet rebond" difficile à éviter. R.G. : N'opposons pas en bloc croissance verte et décroissance ! Il y a un besoin d'équilibre : il faut à la fois ralentir dans certains domaines – comme l'étalement urbain, qui nous conduit à habiter toujours plus loin de notre lieu de travail –, et accélérer dans d'autres – par exemple, le développement des véhicules électriques, en favorisant les plus légers. Pour que la technologie nous aide à lutter contre le changement climatique, la croissance est nécessaire dans certains secteurs. Cela ne nous empêche pas de procéder à certains changements structurels, qui tardent à être mis en œuvre. C'est le cas de la rénovation des bâtiments, par exemple, qu'il nous faut impérativement accélérer.

# L'empathie peut-elle vraiment s'apprendre à l'école ?

La mesure a fait lever quelques sourcils : en septembre dernier, le gouvernement a annoncé l'arrivée de cours d'empathie au programme scolaire, en maternelle et primaire, dès la rentrée 2024. L'objectif ? Sensibiliser et lutter contre le harcèlement scolaire, un fléau qui a encore provoqué le suicide d'un lycéen dans les Yvelines début septembre. Ce drame rappelle l'effarante et difficile réalité qui pèse sur notre système éducatif : le harcèlement toucherait entre 800 000 et 1 million d'enfants chaque année, soit près de 10 % des élèves, selon un rapport du Sénat publié en 2021.

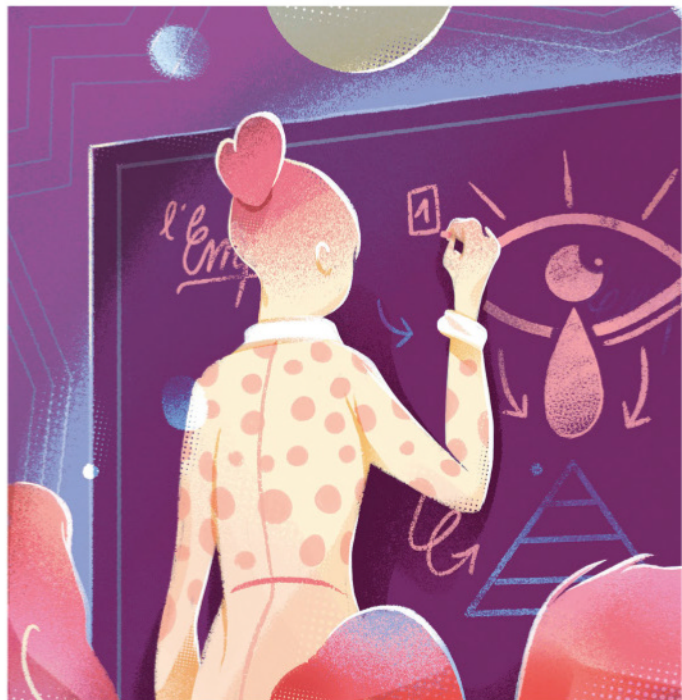
PAYKHAN/COLAGEANE

Alors pour le combattre, le gouvernement veut plus d'empathie à l'école. *"L'empathie, c'est à la fois*

*la capacité de reconnaître les émotions des autres – ce que l'on appelle l'empathie cognitive – et celle de ressentir ce que l'autre ressent et y apporter une réponse adaptée – que l'on nomme l'empathie émotionnelle",* explique Thomas Bourgeron, qui dirige l'unité Génétique humaine et fonctions cognitives à l'Institut Pasteur.

## RIEN DE FIGÉ

Mais l'empathie peut-elle véritablement s'apprendre ? Sans conteste, il y a une part de génétique dans cette faculté, qui semble innée au sein de l'espèce humaine. En analysant le génome de 46 000 personnes ayant passé un test d'empathie, une équipe internationale de chercheurs, dont Thomas Bourgeron, a constaté qu'environ un



dixième des variations du niveau d'empathie entre les individus s'expliquent par les gènes. *"Cela signifie qu'il peut être plus compliqué pour certains*

*de reconnaître les émotions des autres et leur manifester de l'empathie,* explique Thomas Bourgeron. *Mais attention, ce n'est pas parce que c'est en partie génétique qu'on ne peut rien y faire : ce n'est pas figé."*

Et ce n'est pas rien de le dire. Avoir seulement conscience que notre empathie n'est pas figée suffirait à influencer nos comportements : *"Des travaux américains suggèrent que, parmi des individus ayant un faible niveau d'empathie, ceux*

## 12 mois

**C'est l'âge à partir duquel un bébé développe de l'empathie.**

C'est-à-dire quand il commence à apprendre à reconnaître les émotions sur le visage des autres. Cette faculté se construira ensuite jusqu'à ses 7 ans.

## 40%

**C'est la baisse du niveau d'empathie des étudiants américains**

entre la génération des années 1970 et celle des années 2000, selon des travaux de l'université du Michigan en 2010. D'autres études montrent que l'empathie tend à baisser avec l'âge.

## 22<sup>e</sup>

**C'est, sur 63 pays, le rang de la France dans le classement**

du niveau d'empathie établi en 2016 par des chercheurs américains. La 1<sup>re</sup> place revient à l'Équateur, tandis que la Lituanie fait figure de lanterne rouge.

## Pour lutter contre le harcèlement, le gouvernement souhaite développer l'empathie chez les élèves à travers des cours.

Il s'inspire pour cela de programmes déjà éprouvés à l'étranger. Sauf que de simples cours pourraient ne pas suffire, le rapport à l'autre étant aussi déterminé par le système éducatif dans son ensemble.

PAR LISE GOUGIS



D'où le rôle majeur du système éducatif: *“Comme les enfants sont scolarisés de plus en plus tôt, ce temps de sensibilisation aux émotions qui se faisait surtout à la maison devrait pouvoir maintenant être réalisé à l'école”*, poursuit le spécialiste.

### PAR LE CORPS

C'est donc certain: l'empathie peut s'apprendre, a fortiori à l'école. Mais comment l'enseigner? *“Il ne s'agit pas de donner un cours d'empathie comme on donne un cours de maths*, décrit Omar Zanna. *L'empathie se développe par le corps, dans le cadre d'interactions.”*

Dans cette optique, le sociologue a imaginé le jeu des mousquetaires, utilisé en prison avec des mineurs délinquants avant d'être décliné dans des écoles de la Sarthe. Le principe? Les élèves sont répartis en équipes de quatre joueurs. Trois d'entre eux prennent une position physique difficile à tenir, souvent en équilibre. Le quatrième doit réussir à repérer celui sur le point de flancher et le remplacer, au risque de faire perdre son équipe.

En plus de ce jeu, une multitude d'autres →

qui considèrent que cette faculté est malléable ont plus de chances de déjouer leurs comportements agressifs futurs que ceux qui pensent que c'est une compétence fixe”, pointe Violaine Kubiszewski, maître de conférences en psychologie à l'université de Franche-Comté.

Surtout, avoir une prédisposition génétique à l'empathie n'offre pas la garantie de devenir une personne empathique. *“Si la disposition n'est pas entraînée, elle peut*

*s'étioler”*, affirme Omar Zanna, sociologue à l'université de Mans.

### SENSIBILISATION

Plus que la génétique, l'empathie est largement influencée par des facteurs environnementaux, en particulier la famille. Une étude publiée en octobre par des chercheurs de l'université de Cambridge, au Royaume-Uni, a montré que les enfants qui étaient proches de leurs parents à l'âge de 3 ans manifestaient plus d'empathie,

de gentillesse et de générosité à l'adolescence.

Le type d'activités pratiquées a aussi son importance. *“En racontant des histoires à nos enfants, nous leur permettons de se projeter dans la peau des personnages, si bien qu'ils apprennent progressivement à comprendre l'autre*, pointe Omar Zanna. *Cela dépend donc aussi du milieu social – tout le monde n'a pas le temps de lire des histoires à ses enfants ni les moyens de les emmener au cinéma ou au théâtre.”*

approches ont été expérimentées à l'étranger, notamment dans les pays scandinaves. Ainsi, la France entend s'inspirer du programme danois "Fri for Mobberi" ("Libéré du harcèlement" en français), lancé en 2005 et adopté par environ la moitié des crèches et des écoles pour les enfants de 0 à 9 ans.

### MÉTHODES PROBANTES

Cette méthode consiste à développer l'empathie chez les petits via des activités pratiques, comme commenter des images montrant des situations de harcèlement. Selon la Ligue de l'enseignement qui gère le programme en France, "au Danemark, 70 % des professionnels trouvent que les enfants sont plus bienveillants les uns envers les autres après avoir commencé à travailler avec le programme". Et d'après une étude sur l'impact du programme en 2017, les enfants qui le suivent seraient plus aptes à gérer les conflits par eux-mêmes et feraient plus preuve d'empathie envers les autres.

Au Canada, le programme "Racines de

## 3 façons d'apprendre l'empathie

### Repérer un camarade en position difficile

Dans le jeu des mousquetaires, déjà expérimenté dans les écoles primaires de la Sarthe, les élèves forment des équipes de 4, et 3 d'entre eux prennent des positions difficiles à tenir, comme la chaise ou la planche. Le 4<sup>e</sup> a pour mission de repérer celui qui se trouve en passe de lâcher et de le remplacer, toute chute étant synonyme de défaite de l'équipe.



### Reconnaître les situations de harcèlement

La méthode danoise "Fri for Mobberi", repose sur des discussions pédagogiques avec les élèves et des activités pratiques, telles que commenter des images montrant des situations de harcèlement. Un ours en peluche, qui sert aux petits de mascotte, est aussi mis à leur disposition quand ils ont besoin de se confier ou de reconforter un camarade.

l'empathie", mis en place en 1996 dans les écoles défavorisées de Toronto, consiste à faire venir une mère et son bébé dans les classes de primaire. "Au fil des rencontres, les élèves sont sensibilisés au développement du nourrisson et à son état profondément interdépendant. Ils apprennent à prendre soin d'un être vulnérable, à déchiffrer ses besoins, ses émotions", détaille

Charles-Antoine Barbeau-Meunier, sociologue à l'université canadienne de Sherbrooke.

"Les études menées sur ce programme ont montré qu'il favorise bien le développement de l'empathie en classe, poursuit le sociologue. Il est associé à un déclin de la violence et du harcèlement, à une diminution du décrochage scolaire, et à une augmentation du sentiment d'appartenance et de la solidarité, se traduisant notamment par une hausse des comportements prosociaux."

Alors, améliorer l'empathie des élèves serait la panacée pour lutter

contre le harcèlement scolaire? Eh bien oui, il semblerait! "Des données empiriques suggèrent des liens entre la propension des témoins à défendre leurs camarades harcelés et leur niveau d'empathie, souligne Violaine Kubiszewski. De même, la propension à s'en prendre à des camarades est souvent associée à des niveaux d'empathie moins élevés."

Pour autant, ne mettre l'accent que sur cette faculté serait insuffisant, précise la chercheuse. "L'empathie est une compétence socio-émotionnelle parmi d'autres –comme la maî-

DR - N. BONINI/RADIO FRANCE/MAXPPP - S. L. VOISIN/THE WASHINGTON POST/GETTY IMAGES



OMAR ZANNA

Sociologue à l'université de Mans

**Les enfants étant scolarisés de plus en plus tôt, la sensibilisation aux émotions doit se faire à l'école**





## Déchiffrer les émotions d'un nourrisson

La méthode "Racines de l'empathie", mise en place en 1996 dans les écoles d'un quartier défavorisé de Toronto, au Canada, consiste à faire venir une mère et son nourrisson dans des classes de primaire. Au cours des 9 rencontres qui s'échelonnent sur l'année scolaire, les élèves apprennent à prendre soin d'un être vulnérable et à déchiffrer ses émotions.

*trise de soi, qu'il serait tout aussi intéressant de développer à l'école."*

De plus, des travaux menés ces dernières années indiquent que, chez un même individu, l'expression de l'empathie varie selon le contexte dans lequel il se trouve. "Si une personne qui a un bon niveau d'empathie se retrouve dans un environnement où tout respire la bienveillance et l'acceptation de l'autre, il y a de grandes chances que cela se traduise dans ses comportements. À l'inverse, si elle est placée dans un contexte de compétition et de rejet fréquent de l'autre, il est moins probable que son empathie s'exprime – les comportements étant

*également modelés par les normes sociales", illustre la chercheuse.*

### SYSTÈME GLOBAL

Pour Omar Zanna, c'est précisément ce qui fait la différence entre les systèmes éducatifs français et danois. "Au Danemark, l'école est basée sur la coopération entre les élèves, et ces derniers n'ont pas de notes avant leurs 14-16 ans. Tandis qu'en France, les notes sont présentes très tôt et les élèves sont souvent inscrits dans des logiques de compétition."

Le classement PISA 2018 met le doigt sur cette différence éducative : dans l'Hexagone, seuls 45 % des élèves ont déclaré coopérer entre eux dans

leur établissement, contre 81 % des petits Danois. "C'est une part importante de l'éducation au Danemark, au même titre qu'apprendre à lire ou compter. Ainsi, une heure par semaine, les élèves peuvent exposer les problèmes de toutes sortes qu'ils rencontrent, et toute la classe essaye d'y trouver une solution", illustre Jessica Alexander, spécialiste de l'éducation danoise. "Je suis convaincue que c'est l'une des raisons pour lesquelles le pays a l'un des plus hauts niveaux d'empathie au monde, mais aussi l'un des plus faibles taux de harcèlement scolaire."

Dès lors, difficile de copier-coller ce qui marche ailleurs si le sys-

tème éducatif dans sa globalité, voire la société, ne fonctionne pas de la même façon. "Les interventions autour de l'empathie dans les pays scandinaves ont donné des effets probants dans un contexte culturel qui n'est pas celui de la France. Il faudra les évaluer scientifiquement dans nos écoles pour voir s'ils apportent les mêmes bénéfices", souligne Violaine Kubiszewski.

La méthode "Fri for Mobberi" est actuellement expérimentée à petite échelle dans des écoles maternelles d'Île-de-France. Une étude d'impact devrait être publiée d'ici à la fin 2024. Les attentes sont maigres, mais ne jugeons pas trop vite... Ayons un peu d'empathie.

# Les clés pour comprendre l'A69, autoroute de la discorde

**Manifestations, lettre ouverte au président...** Le projet d'autoroute A69 destinée à relier plus vite Castres à Toulouse cristallise les tensions. Si des élus locaux y voient l'occasion de désenclaver la ville de Castres, de nombreux scientifiques le jugent néfaste pour l'environnement. Explications en 5 points.

PAR THOMAS ALLARD

## 1 L'autoroute relierait Castres à Verfeil...

— Trajet existant — En projet



## 3 Mais les émissions de CO<sub>2</sub> vont augmenter...

Un véhicule roulant à 130 km/h au lieu de 80 km/h émet en moyenne 50 g de CO<sub>2</sub> en plus par kilomètre. Or 8 000 à 9 000 véhicules devraient circuler chaque jour sur l'A69 : cela représente un surplus de 8 200 tonnes de CO<sub>2</sub> par an environ.



Soit environ 9 000 allers-retours entre Paris et New York en avion.

SHUTTERSTOCK - MIKO KONTEKTE

C'est un projet vieux de près de 30 ans, mais dont le chantier vient de démarrer. Le 6 mars dernier, le concessionnaire Atosca a acté le début des travaux de construction de l'autoroute A69, reliant les villes de Castres et Verfeil,

à 20 minutes à l'est de Toulouse. Cette voie rapide doit être mise en service en 2025. Mais ce projet divise. Le 4 octobre, plus de 1500 scientifiques, dont des auteurs du Giec, ont signé une lettre ouverte au président de la République pour l'appeler à renoncer à ce projet, indiquant qu'il

serait "incompatible avec la transition écologique telle qu'inscrite dans la loi". Ils s'inquiètent notamment de l'artificialisation de 343 ha de terres: "Cette autoroute va avoir un impact très négatif sur la biodiversité locale, en détruisant ou fragmentant les habitats. Et à chaque

fois qu'une autoroute est construite, les projets d'urbanisation et d'entrepôts s'accroissent autour des échangeurs. On peut donc s'attendre à des dégâts encore plus importants en termes d'artificialisation des sols", déplore Soizic Rochange, chercheuse en biologie à Toulouse III.

## 2 ... pour un gain de temps de 20 minutes au mieux

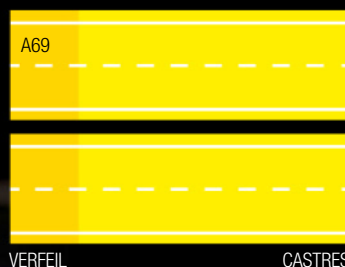
C'est l'estimation faite par rapport au trajet actuel de 42 minutes qui passe par la route nationale 126, limitée à 80 km/h. En contrepartie, il faudra déboursier 6,77 € pour parcourir l'A69 en entier.

Distance : 53 km  
Durée : 42 minutes actuellement (54 minutes en comptant l'itinéraire modifié)  
Coût : gratuit



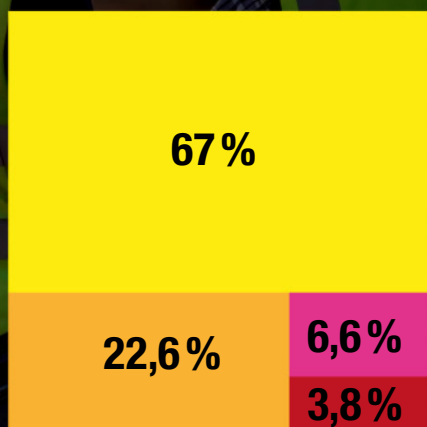
■ Part déjà existante  
■ Part restant à aménager

Distance : 53 km  
Durée : 22 minutes (en absorbant 9 km de la N126)  
Coût : 6,77 € l'aller (soit 0,13 €/km)



## 4 ... des terres seront artificialisées...

Le projet prévoit l'artificialisation de 343 ha de terres, l'équivalent de 472 terrains de football, dont 100 ha totalement imperméabilisés.



Types de terrains qui seraient artificialisés

■ Terres agricoles ■ Zones humides  
■ Milieux ouverts ■ Zones boisées

## 5 ... et la biodiversité sera impactée

"La construction de l'A69 entraînera une perte d'habitat pour certaines espèces arboricoles, car de vieux platanes seront abattus. Or chauves-souris et rolliers d'Europe nichent dans leurs cavités", détaille Gabriel Hes, doctorant à Toulouse III. En fragmentant les habitats, l'A69 devrait aussi menacer plusieurs espèces de mammifères, d'insectes et d'oiseaux, dont certaines protégées, telle la loutre d'Europe.



Lucane Cerf-volant (espèce non protégée mais en régression)



Renoncule à feuilles d'ophioglosse (espèce protégée)



Loutre d'Europe (espèce protégée)

## PAROLE AUX CHERCHEURS

# LE DERNIER PRÉSENT DE NEANDERTAL

*"On ne comprend bien quelque chose qu'en le comparant à autre chose"* : sur cette phrase du linguiste Georges Dumézil s'ouvrent mille possibles. Un vertige. Mais à quoi alors comparer *Sapiens* ? Comment nous comprendre, nous, créatures humaines, si nous ne pouvons nous mettre en balance qu'avec nos plus proches cousins dans le règne des vivants : chimpanzés et bonobos ? Ce jeu de perspective nous permet de faire tomber le masque d'une humanité en scission du monde sauvage, et d'explorer un peu le singe en nous. De tenter une approche de ce qui nous habite et nous anime. Mais ces autres hominidés sont très éloignés dans l'évolution et le temps, et la méthode reste bien incertaine.

Et si, au lieu de regarder au travers de 10 millions d'années d'horizons divergents, nous pouvions nous comparer à une autre humanité ? À une conscience toute proche, qui s'est éteinte sans crier gare il y a 40 millénaires ? Cette autre humanité, c'est Neandertal. Prisonnier de nos fantasmes, nous l'avons longtemps

salement grimé en nous-mêmes, comme si c'était lui faire une fleur que de nier sa différence. Or, bien des fois, j'ai relevé l'élégance puissante et exclusive des artisanats que Neandertal nous a légués. Oh, bien sûr, les vieux silex *Sapiens* sont aussi très élégants. Mais si normalisés, si lassants. Et ce satané Neandertal qui nous étonne à chaque fois au travers de chacun de ses objets, tous uniques. Tout en étant si puissamment équilibrés dans leurs harmonies formelles.

La voilà, cette mise en balance inattendue. La créativité totale néandertalienne face aux projets sans compromis des vieux *Sapiens* qu'il rencontra. Et l'efficacité *Sapiens*, objective, qui balaya tout sur son passage. Qui emporta le vieux monde du Paléolithique comme une vague que rien ne put arrêter. Le dernier présent de Neandertal, c'est la possibilité de la mise en mots de ce que nous sommes. Cette efficacité normalisée qui balayera tout sur son passage si l'on ne trouve les mots, les SOS, nous apprenant, enfin, à nous méfier de nous-mêmes.



LUDOVIC SLIMAK

Archéologue et chercheur CNRS au laboratoire du Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse



**EXCLUSIVITÉ ABONNÉS**

# PARTICIPEZ À NOTRE COMITÉ SCIENTIFIQUE

**La rédaction organise 2 fois par an des comités scientifiques.** Le principe est d'échanger avec des chercheurs sur un sujet donné. **Cette rencontre n'est pas ouverte au public**, elle sert avant tout à nourrir la rédaction grâce à ces échanges riches. **Nous vous proposons à vous, abonnés, d'y participer.** Il s'agit d'une **réunion de travail qui dure 2h30 avec 2 sessions de questions-réponses.** Aussi, nous sommes contraints de limiter le nombre de participants à 10.

Prochain comité scientifique : **le jeudi 7 décembre à 14h à l'Institut Pasteur**

Sur le thème

## Les maladies ont-elles un sexe ?

**Débat en 2 parties**

**D'où vient l'idée que les maladies ont un sexe ?**

**Comment s'en est-on rendu compte ?**

**Les habitudes sociales ont-elles un impact ?**



**Pour participer,**  
inscrivez-vous ici :



[bit.ly/comite-sv](https://bit.ly/comite-sv)

ROME

## La nature sera au cœur des musées

C'est un musée des sciences d'un nouveau genre qui s'élèvera au cœur de Rome dès 2027. Conçu par le cabinet d'architectes italien ADAT, l'édifice sera entouré d'un parc, qui aura la particularité de se prolonger jusqu'à l'intérieur du bâtiment, sur tout le rez-de-chaussée. Squelettes, fossiles et plantes en tout genre s'entremêleront ainsi le long des parcours pour rendre les visites plus vivantes. Aux étages, les galeries seront connectées par des ponts en verre destinés à laisser passer la lumière. Les parois du bâtiment seront d'ailleurs semi-transparentes et des ouvertures dans les façades permettront une ventilation naturelle. Sur le toit, des panneaux solaires fourniront une partie de l'énergie, et un système de collecte des eaux de pluie permettra, entre autres, d'entretenir le parc. Enfin, l'édifice accueillera aussi une cafétéria, un restaurant et une librairie, ainsi que des espaces dédiés aux chercheurs et à l'administration.

S.F.





JAPON



## Des tankers amèneront l'électricité en mer

La société japonaise PowerX va construire le Battery Tanker X, un bateau électrique de 140 m de long rempli de 96 containers de batteries chargées à bloc ! Sa mission ? Naviguer pour ravitailler des villes en énergie propre. Prévu pour 2025, le prototype pourra fournir 241 MWh d'énergie renouvelable dans un rayon de 300 km, tandis que la version finale aura une capacité de 2 GWh. **s.f.**





ÉTATS-UNIS



## Les ailes des avions auront des haubans

Voici le X-66A, un prototype d'avion monocouloir développé par Boeing et la Nasa. Avec ses fines et longues ailes, renforcées par un système d'entretoises fixées à la partie basse du fuselage, son envergure est drastiquement augmentée: le X-66A mesurera 52 m du bout d'une aile à l'autre, soit 33 % de plus qu'un monocouloir classique tel que l'Airbus A320! De quoi permettre à l'engin, qui sera doté de moteurs hybrides, de réduire sa consommation de carburant jusqu'à 30 %.

S.F.

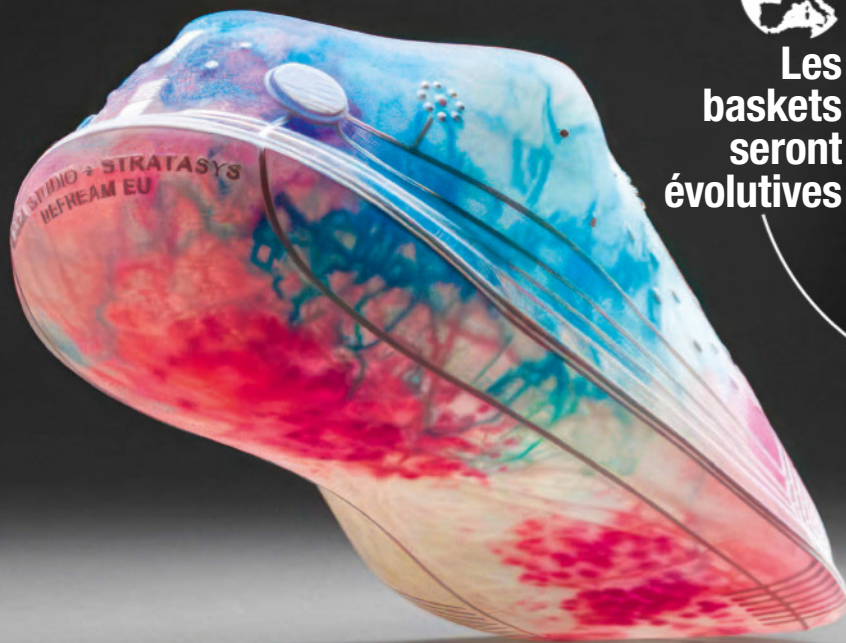
LONDRES



## Les baskets seront évolutives

Pensée par les designers d'Assa Studio Limited, la semelle intermédiaire du prototype de chaussure Evolve sera constituée d'un gel imprimé en 3D dans lequel seront intégrés différents capteurs. Ceux-ci fourniront ainsi à leur propriétaire des données biométriques, comme la répartition du poids, et permettront d'améliorer la forme de la basket au fil du temps.

L.B.



XI'AN (CHINE)



## Les gratte-ciel seront autonomes en énergie

Dotée de façades inclinées et vitrées, la tour Daxia (210 m), imaginée par le studio Zaha Hadid Architects, se veut à la pointe de la technologie : d'abord, elle intégrera des capteurs afin d'optimiser la consommation électrique. Ensuite, pour assurer l'autonomie au moins partielle de l'immeuble, un système de captage d'eau de pluie permettra d'arroser la végétation luxuriante de ses terrasses et d'alimenter les toilettes, tandis que des panneaux solaires, sur le toit, fourniront une partie de l'énergie nécessaire aux habitations. Aucune date de construction n'a encore été annoncée.

S.F.



Nous voulons sortir l'urine du circuit de l'eau potable pour la transformer en biofertilisant agricole

ALEXANDRA **CARPENTIER**  
Directrice générale de Toopi Organics



LOUPIAC-DE-LA-RÉOLE (GIRONDE)



## De l'urine humaine comme engrais

Elle se révèle le milieu idéal pour cultiver des bactéries qui composent des biofertilisants destinés à l'agriculture.

PAR **STÉPHANE FAY**

Chaque année, en France, 960 milliards de litres d'eau sont pollués par l'urine humaine. D'où cette idée de la société Toopi Organics : la récolter avant qu'elle ne se mélange à l'eau à l'aide d'urinoirs secs, et la transformer en un biofertilisant, le Lactopi Start. Pour ce faire, l'urine est d'abord débarrassée de 100 % de ses pathogènes. Elle est ensuite supplémentée en sucre, puis sert de milieu de culture à des bactéries d'intérêt agronomique. *"Notre choix s'est porté sur une souche de lactobacillus, explique Alexandra Carpentier, directrice générale de Toopi Organics. Dans le sol, ces bactéries solubilisent le phosphore, ce qui le rend plus facilement accessible aux plantes. Et l'urine est le meilleur*

*milieu pour les cultiver."* Avec 1 litre d'urine, 1 litre de Lactopi Star est ainsi produit. Une fois épandu dans les champs, le biofertilisant stimule la pousse des racines et diminue les besoins en engrais phosphatés.

Une première livraison de 7 000 litres de Lactopi Start en mars, puis de 10 000 litres en juin, a déjà permis de fertiliser 700 ha en France. Un début : *"Une récente levée de fonds devrait nous permettre d'augmenter notre capacité de production de 250 000 à 2 millions de litres"*, se réjouit Alexandra Carpentier. *Nous préparons aussi trois nouveaux produits avec d'autres souches de bactéries, permettant entre autres de lutter contre le stress hydrique."*



# 25 ans

Les dessins animés entrent dans l'ère de l'informatique

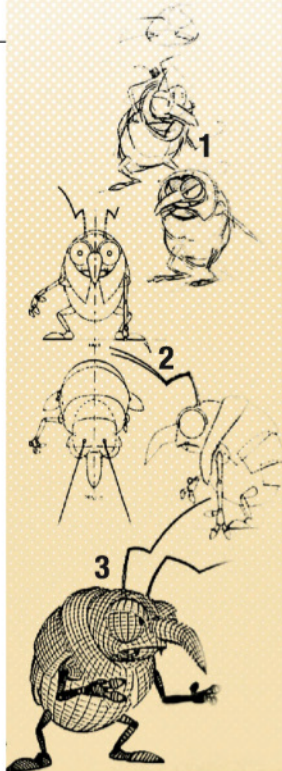


*“La magie ne risque-t-elle pas de disparaître ?”, s’inquiétait votre magazine en décembre 1998. Il faut dire que durant ce même mois sortaient au cinéma trois dessins animés en 2D pour les enfants – Kirikou et la Sorcière, Mulan et Le Prince d’Égypte – “qui ont en com-*

*mun d'utiliser des images créées par ordinateur”. À l’époque, la technologie révolutionne l’industrie de l’animation : exit le travail des “intervallistes”, qui fluidifient les mouvements des personnages en décortiquant chacun de leurs gestes en une multitude de dessins (voir “Il y a pile 100 ans”). Cela, l’ordinateur peut désormais le faire. Et à la chaîne : “Dans Mulan, la scène finale rassemble 30 000 personnages qui accomplissent des actions distinctes. Celle du Prince d’Égypte en compte 146 000”, énumérait ainsi Science & Vie.*

Le résultat est évidemment spectaculaire. Mais voilà, est-ce que cette automatisa-  
tion technologique signera la fin des *cartoons* défiant les lois de la physique, à la

manière des Tex Avery ?  
*“Non, tranchait votre magazine. Mais les données numériques qui structurent les personnages en images de synthèse sont plus complexes à manipuler qu’un franc trait de crayon”. C’est donc un nouveau défi qui s’ouvre pour les géants de l’animation 2D, forcés de concilier imaginaire et technologie. D’autant qu’en parallèle, une autre rupture technologique se prépare : la capture de mouvements. “Un acteur équipé de capteurs posés aux points névralgiques de son corps effectue des mouvements [...] transmis à un ordinateur et attribués à un personnage, expliquait Science & Vie. Un procédé magique mais qui, là encore, se tient plus proche du réel que du cartoon.*



Votre magazine rappelait les quatre étapes de création d’un personnage de dessin animé, en l’occurrence de Krabo, de la série *Insektors*, en 1994.

1. Les premiers croquis définissent son aspect général.
2. Le *turn around* (“vue sous divers angles”) fournit les indications pour sa modélisation informatique.
3. Le personnage ainsi reconstitué apparaît sur l’écran comme “habillé” d’un maillage en fil de fer.
4. Pour parachever son image, on lui ajoute couleurs et textures. Et voilà, Krabo prend vie !



# 100 ans

On industrialise le dessin animé



L'informatique n'est pas la seule avancée portée par l'industrie du dessin animé ! Il y a un siècle, pour 8 minutes de film, il fallait dessiner et photographier environ 9 000 croquis – un *“travail de forçat”* s'écriait *La Science et la Vie*. Mais bientôt simplifié par *“l'un de nos meilleurs (...) dessinateurs*

*humoristes, Benjamin Rabier”*. Célèbre pour sa BD *Gédéon* ou le logo de La Vache qui rit, l'artiste s'était inspiré d'images populaires – souvent d'un *“genre grossier”* glissait votre magazine – *“dans lesquelles les mouvements de bras ou de jambes sont commandés par une tirette”*. Et voilà que, pour filmer une bougie qui fond, il suffisait d'en découper une et la faire glisser dans une fente pratiquée dans le dessin d'arrière-plan, ou de confectionner une silhouette aux bras et jambes articulés pour capturer la marche d'une personne. *“Un film de 200 m exigeait 4 000 dessins, (il) peut être exécuté avec 50 images”*, saluait *La Science et la Vie*, annonçant une révolution. La suite lui a donné raison.

# 50 ans

On pense qu'un trou noir a traversé la Terre



*“On aurait flôlé en 1908 la fin du monde !”*, titrait *Science & Vie* en décembre 1973. Au matin du 30 juin 1908, une *“lueur étrange, bleutée”* suivie *“d'un grondement de tonnerre”* avaient été recensés en pleine forêt sibérienne, à Tougouska. Sur *“30 ou 40 km, les arbres étaient couchés”*, sans signes d'impact. L'œuvre

d'une météorite ayant explosé avant de toucher le sol, selon les scientifiques. Mais *“aucune trace de pierre ou de métal météoritique”* n'avait été retrouvée... D'où l'hypothèse élaborée 65 ans après par deux astrophysiciens américains : et si un trou noir *“gros comme quelques atomes”* avait traversé la Terre de part en part ? Selon leurs calculs, une telle entité cosmique aurait engendré les effets observés... et aurait pu détruire la planète ! Heureusement, en 2013, des fragments météoritiques ont été retrouvés sur place... Les microtrous noirs restent du ressort de la science-fiction.

#LACHRONIQUE

M. TUMELAIRE



La chronique de  
**Gautier Depambour**  
Doctorant en histoire des sciences  
au laboratoire Sphere

## Leibniz vs Bernoulli : mais que vaut le logarithme de -1 ?

Inventé au XVII<sup>e</sup> siècle, le logarithme est une fonction mathématique qui transforme les produits en additions – ce qui est bien utile pour simplifier certains calculs. On appelle “logarithme en base b du nombre x” le nombre y tel que b à la puissance y donne x, soit :  $b^y = x$ . Si ce x est positif, tout va bien : son logarithme est une quantité réelle parfaitement définie. Mais que vaut le logarithme de x si celui-ci est un nombre négatif ?

Cette question est au cœur d'un échange épistolaire entre deux grands savants, Jean Bernoulli et Gottfried Wilhelm Leibniz, en 1712-1713. De son côté, Bernoulli affirme que les logarithmes des nombres négatifs sont identiques à ceux des positifs :  $\log(-x) = \log(+x)$ , et  $\log(-1) = \log(+1) = 0$ . Pour le montrer, il fait astucieusement appel au calcul différentiel inventé par... Leibniz lui-même ! Ce dernier refuse

pourtant l'argumentation : en écrivant le logarithme comme une somme infinie de termes, Leibniz s'aperçoit que la valeur de  $\log(-1)$  doit tendre vers l'infini ; ce qui est très loin de 0... Il en déduit que  $\log(-1)$  ne peut être qu'un nombre imaginaire faisant intervenir la racine carrée de -1.

Bref, pour Bernoulli,  $\log(-1)$  est réel, tandis que pour Leibniz, c'est une quantité fictive : la conciliation semble impossible. Elle sera pourtant faite en 1749 par le génial mathématicien suisse Leonhard Euler, qui explique que Bernoulli et Leibniz se sont tous les deux égarés en pensant que le logarithme d'un nombre négatif ne pouvait prendre qu'une seule et unique valeur.  $\log(-1)$  peut en fait en prendre une infinité, toutes imaginaires !

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

science-et-vie.com

À la une

D'abord, la Terre se videra de ses océans, la Lune s'enfuira, Mars se dotera d'anneaux. Puis, soudain, le Soleil enflera jusqu'à envahir le ciel entier, balayant les planètes rocheuses sur son passage, repoussant les géantes ! Bien sûr, tout cela se passera dans des milliards d'années... Mais de modélisations en équations, les chercheurs sont déjà parvenus à dépeindre le crépuscule de notre Système solaire, et même l'après. Tournez la page et assistez au grand final de notre monde... comme si vous y étiez.

**LE SYSTÈME SOLAIRE,  
DANS QUELQUES MILLIARDS D'ANNÉES...**

# COMME TOUT FIN UN NOUVEAU SCÉNARIO DE



# ENT NIRA

## LA FIN DU MONDE

PAR BENOÎT REY

72

Sur la Terre aride  
et désolée

76

Face à l'explosion  
finale du Soleil

80

Sous la lumière  
fantomatique  
d'une naine  
blanche

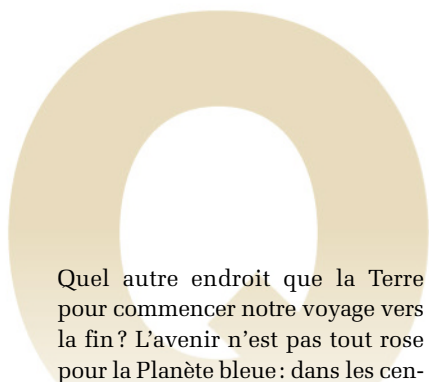
84

Et la fin  
de l'Univers ?

DANS 1 MILLIARD D'ANNÉES

# SUR LA TERRE ARIDE ET DÉSOLEE

Vu de notre planète, la montée en température du Soleil engendrera une gigantesque restructuration en un seul continent au volcanisme incessant. La plupart des espèces n'en réchapperont pas.



Quel autre endroit que la Terre pour commencer notre voyage vers la fin ? L'avenir n'est pas tout rose pour la Planète bleue : dans les centaines de millions d'années qui vont suivre, sa vie, sa tectonique des plaques, son champ magnétique – bref, tout ce qui fait sa spécificité parmi les planètes du Système solaire – finiront par disparaître à

mesure que le Soleil s'échauffe, que son cœur refroidit et que s'amenuise la radioactivité naturelle de ses roches. Cette dernière génère la chaleur responsable des mouvements de convection dans le manteau terrestre, elle participe donc à la dérive des continents depuis que la Pangée a commencé à se fragmenter, il y a 200 millions d'années (Ma).

Mais voilà qu'ils sont en train de s'amalgamer à nouveau : l'Inde a déjà rejoint l'Eurasie, l'Afrique en fait autant. L'Australie est en train de percuter l'Indonésie. "Reste à savoir ce que feront les Amériques et l'Antarctique... le manteau de la Terre, c'est comme le climat : il est

chaotique donc il y a un horizon de 100 millions d'années au-delà duquel il est compliqué de faire des prédictions", explique Nicolas Coltice, géophysicien au Laboratoire de géologie de Lyon.

## UN NOUVEAU SUPERCONTINENT

Fermeture de l'océan Pacifique, de l'océan Atlantique, voire regroupement par les pôles... Plusieurs chemins sont possibles. "Quoi qu'il en soit, un nouveau supercontinent devrait apparaître dans 250 à 500 Ma, pronostique Boris Robert, de l'Institut de physique du globe de Paris. Certains chercheurs lui ont même déjà donné un nom : Amasia."

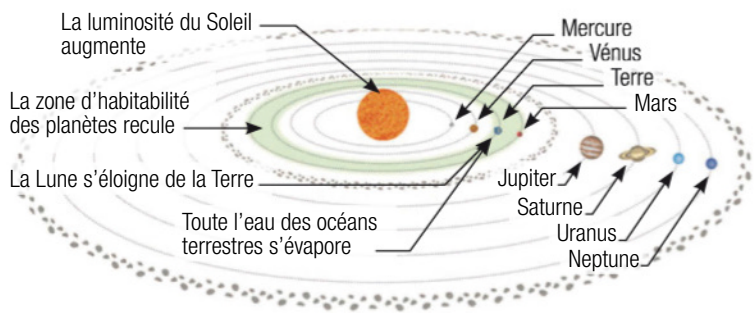




GRÉGOIRE CIRADE D'APRÈS SHUTTERSTOCK - B. BOURGEOIS

Si les mammifères tiennent jusque-là, l'Amasia sera leur cimetière. Selon une étude publiée cet été par Alexander Farnsworth, de l'université de Cardiff (Royaume-Uni), le supercontinent entraînera des éruptions volcaniques fréquentes qui pourraient doubler le taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ajoutez à cela l'augmentation de la luminosité du Soleil, qui atteindra alors 2,5 % de sa valeur actuelle, et la température pourrait grimper à 70°C sur certaines régions de l'Amasia... soit bien plus que ce que le système de régulation de chaleur des mammifères ne pourra encaisser. "L'aug-

### Un Système solaire à première vue inchangé

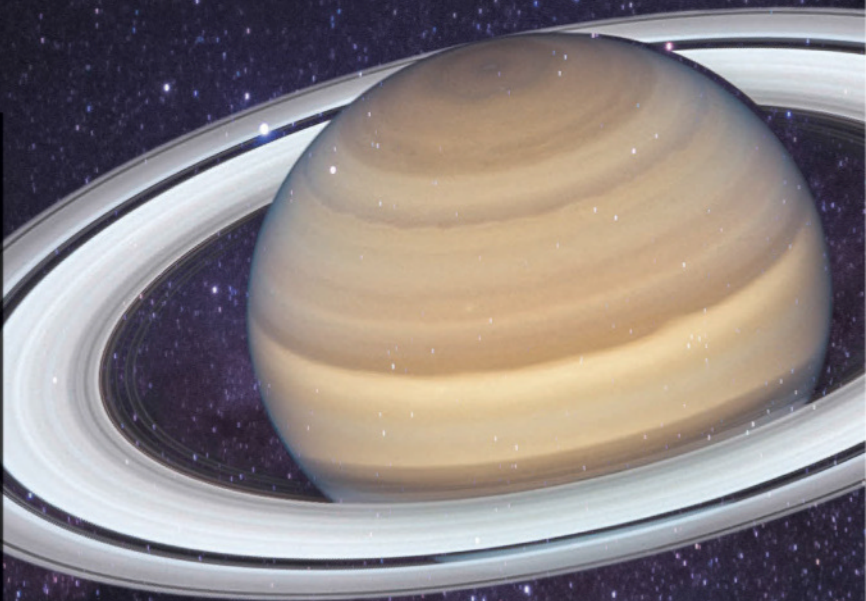


mentation de luminosité du Soleil est imperceptible à l'échelle de l'humanité, et donc absolument hors de cause du réchauffement climatique actuel, précise Franck Selsis, du Laboratoire d'astrophysique de Bor-

deaux. Mais à l'échelle géologique, elle est permanente." Dans 1 milliard d'années, elle atteindra même les 10 % de sa valeur actuelle, un seuil critique pour les océans qui se mettront... à bouillir! "Alors, ➔

## Dans 30 millions d'années, Mars aura un anneau

C'est le premier événement dramatique prévu à l'échelle du Système solaire. Phobos, l'une des deux lunes de Mars, perd continuellement en altitude : aujourd'hui à 5 980 km de la Planète rouge, elle devrait passer sous les 2 000 km dans 30 millions d'années. Or cette distance constitue sa "limite de roche", la frontière en dessous de laquelle la différence de gravité subie par la face donnant sur Mars et sa face opposée devient dramatique. La lune sera alors déchirée en une myriade de fragments qui, en quelques jours, s'éparilleront autour de la Planète rouge pour former un anneau, moins imposant et moins resplendissant que celui de Saturne composé de glace... L'anneau martien sera plus subtil, et constitué de roches.



## Dans 300 millions d'années, les anneaux de Saturne pourraient avoir disparu

La planète géante subit une pluie ininterrompue de particules de glace venues des anneaux : c'est ce qu'ont révélé des observations de James O'Donoghue, de la Nasa. Les anneaux sont en effet eux-mêmes bombardés en permanence de micrométéorites qui arrachent des électrons à leurs particules de glace. Chargées électriquement, elles deviennent alors sensibles au champ magnétique de Saturne, qui les draine vers le bas : 400 à 3 000 kg de glace tomberaient ainsi des anneaux vers la planète à chaque seconde ! Le stock sera vite épuisé : James O'Donoghue a estimé que les anneaux disparaîtraient dans 292 millions d'années. Cette durée de vie pourrait être bien prolongée, objecte Sébastien Charnoz : *"Malgré les micrométéorites, les anneaux restent étrangement blancs : il semble qu'un mécanisme inconnu les régénère en continu."*



*tout se passera très vite, annonce le chercheur, les océans seront vaporisés en quelques dizaines de milliers d'années, une bascule extrêmement violente à l'échelle de la Terre." À leur place s'étendra un sol désertique chauffé à plusieurs centaines de degrés, écrasé sous 270 bars d'atmosphère.*

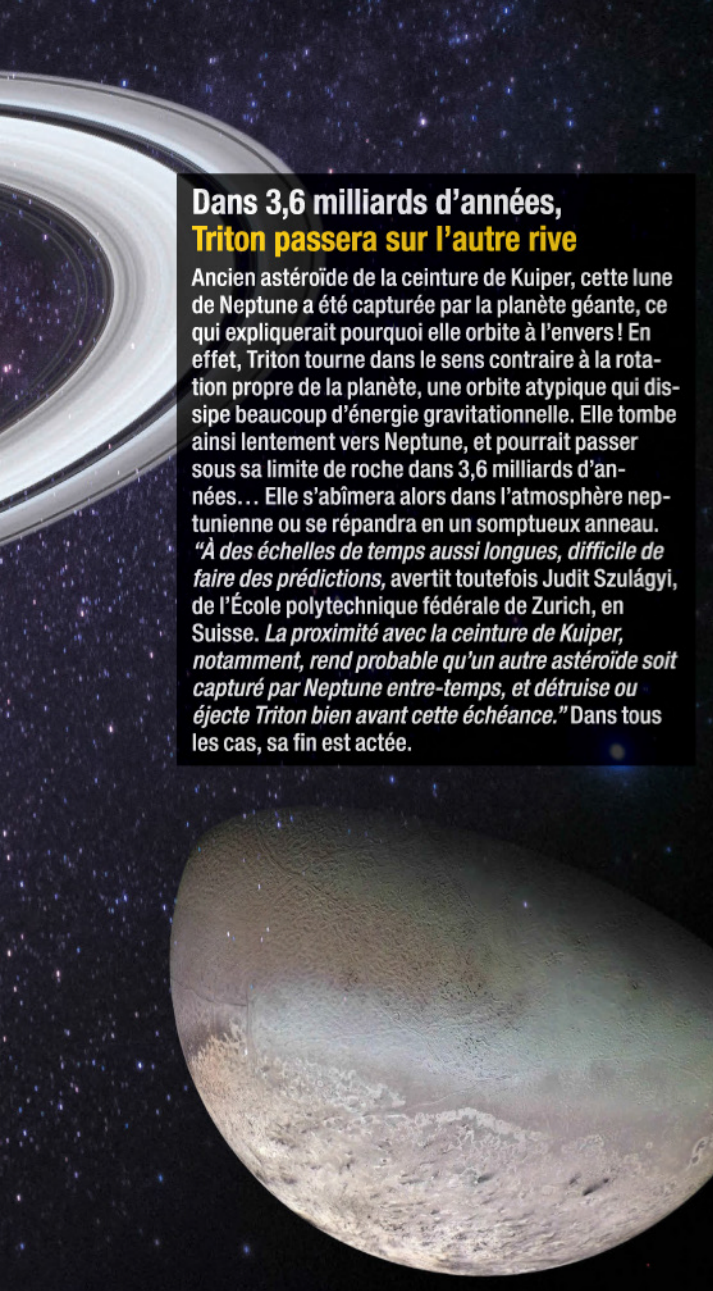
Or, sans ses océans, la Planète bleue n'est plus la même planète. Leur friction sur les côtes lors des marées dis-

sipe de l'énergie gravitationnelle, ce qui allonge la durée du jour et éloigne la Lune de la Terre de 3,78 cm par an. Les éclipses totales de Soleil finiront ainsi par disparaître. *"Au rythme actuel, dans 3,4 milliards d'années, la Lune sera à 1,3 fois sa distance actuelle, elle fera un tour de la Terre en 40 jours,* calcule Sébastien Charnoz, enseignant chercheur à l'université Paris Diderot. La durée du jour terrestre sera également de 40 jours,

d'ailleurs : la Lune sera un point fixe dans le ciel, 30 % plus petit que ce que l'on voit aujourd'hui. *"Mais comme entre-temps les océans vont disparaître, ce phénomène pourrait advenir beaucoup plus tard"*, précise le chercheur.

### FINIE, LA TECTONIQUE DES PLAQUES

Sur Terre, l'évaporation des océans pourrait également ralentir la tectonique des plaques, car l'eau facilite



## Dans 3,6 milliards d'années, Triton passera sur l'autre rive

Ancien astéroïde de la ceinture de Kuiper, cette lune de Neptune a été capturée par la planète géante, ce qui expliquerait pourquoi elle orbite à l'envers ! En effet, Triton tourne dans le sens contraire à la rotation propre de la planète, une orbite atypique qui dissipe beaucoup d'énergie gravitationnelle. Elle tombe ainsi lentement vers Neptune, et pourrait passer sous sa limite de roche dans 3,6 milliards d'années... Elle s'abîmera alors dans l'atmosphère neptunienne ou se répandra en un somptueux anneau. *“À des échelles de temps aussi longues, difficile de faire des prédictions, avertit toutefois Judit Szulágyi, de l'École polytechnique fédérale de Zurich, en Suisse. La proximité avec la ceinture de Kuiper, notamment, rend probable qu'un autre astéroïde soit capturé par Neptune entre-temps, et détruit ou éjecte Triton bien avant cette échéance.”* Dans tous les cas, sa fin est actée.

ESA & MPS FOR OSIRIS TEAM - NASA, ESA, A. SIMON (GODDARD SPACE FLIGHT CENTER), AND M. H. WONG (UC, BERKELEY) - NASA/JPL/USGS

la déformation des roches. Mais, océan ou pas, cette tectonique est condamnée à s'arrêter. Dans 2,5 milliards d'années, la production de radioactivité au cœur de la Terre aura chuté d'un facteur 2 : la dynamique interne sera par conséquent moins intense.

*“Les plaques devraient s'agrandir, jusqu'à ce qu'il n'en reste qu'une seule, un couvercle global, comme ce que l'on observe sur*

*Mars,* explique Nicolas Coltice. Il n'y aura alors plus de grandes chaînes de montagnes. À la place, de gros systèmes volcaniques cracheront sans répit du CO<sub>2</sub> qui, sans subduction pour l'enfouir sous la surface, ne pourra que s'accumuler dans l'atmosphère.

Quant au cœur profond de la planète, cette graine de fer solide de 1 220 km de diamètre, il continuera à se cristalliser et à gagner du ter-

## La variable aléatoire qui pourrait tout changer

Le Système solaire fait figure d'horlogerie stable, sauf qu'en réalité, il est comme une toupie en rotation qui, à long terme, pourrait vaciller et s'effondrer ! C'est le résultat des travaux publiés au printemps par Jacques Fejoz, de l'université de Paris Dauphine, et deux de ses collègues. Les mathématiciens ont considéré un système simplifié : trois planètes et une étoile, toutes représentées par des points matériels. Puis ils ont poussé les équations de la gravitation de Newton dans leurs retranchements. Résultat : à cause de l'attraction, même minime, que les planètes exercent les unes sur les autres, elles pourraient basculer, orbiter perpendiculairement au plan de l'écliptique, voire en sens inverse ! C'est la première preuve que les équations contiennent ce genre d'anomalie – une preuve mathématique, idéale, *“aussi vraie que le théorème de Pythagore est vrai,* explique Jacques Fejoz. *Il est cependant encore impossible de savoir si cela surviendra d'ici à la mort du Soleil.”* Ce n'est pas tout : Sean Raymond, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux, a, lui, montré que des passages d'étoiles pouvaient aussi perturber les planètes. Au point que certaines entreraient en collision ou seraient éjectées...

rain sur la partie liquide du noyau qui l'entoure, à mesure que la Terre se refroidira. La graine progresse aujourd'hui de 0,5 mm/an. *“À ce rythme, dans 5 milliards d'années, la partie restée liquide devrait être trop fine pour que ses mouvements de convection continuent à générer la dynamo terrestre,* prévoit Julien Aubert, spécialiste à l'Institut de physique du globe de Paris. *Petit à petit, le champ magnétique protecteur de la Terre disparaîtra.”* Si la vie terrestre a survécu jusqu'à ce moment-là, ce sera pourtant le cadet de ses soucis. C'est du ciel que viendra le terme : regardez, le Soleil ardent s'est mis à gonfler. →

À la une

DANS 7,5 MILLIARDS D'ANNÉES

# FACE À L'EXPLOSION FINALE DU SOLEIL

Quand le Soleil sera à court d'hydrogène, la contraction de son cœur s'emballera et l'étoile gonflera en géante rouge, envahissant son propre système de planètes.

**R**ien n'existe éternellement, et notre étoile ne fait pas exception. Le Soleil nous baigne de sa lumière depuis 4,58 milliards d'années, une énergie qu'il génère depuis son cœur en transformant son hydrogène en hélium par réaction de fusion nucléaire. C'est cette énergie qui empêche à notre étoile de se contracter sous l'effet de son propre poids: *"Le Soleil, comme toute étoile, est une boule de plasma en équilibre hydrostatique entre la gravité, qui tend à la comprimer, et son énergie radiative, qui résiste à l'effondrement"*, explique Andrea Chiavassa, spécialiste des géantes

GRÉGOIRE CIRADE - B. BOURGEOIS

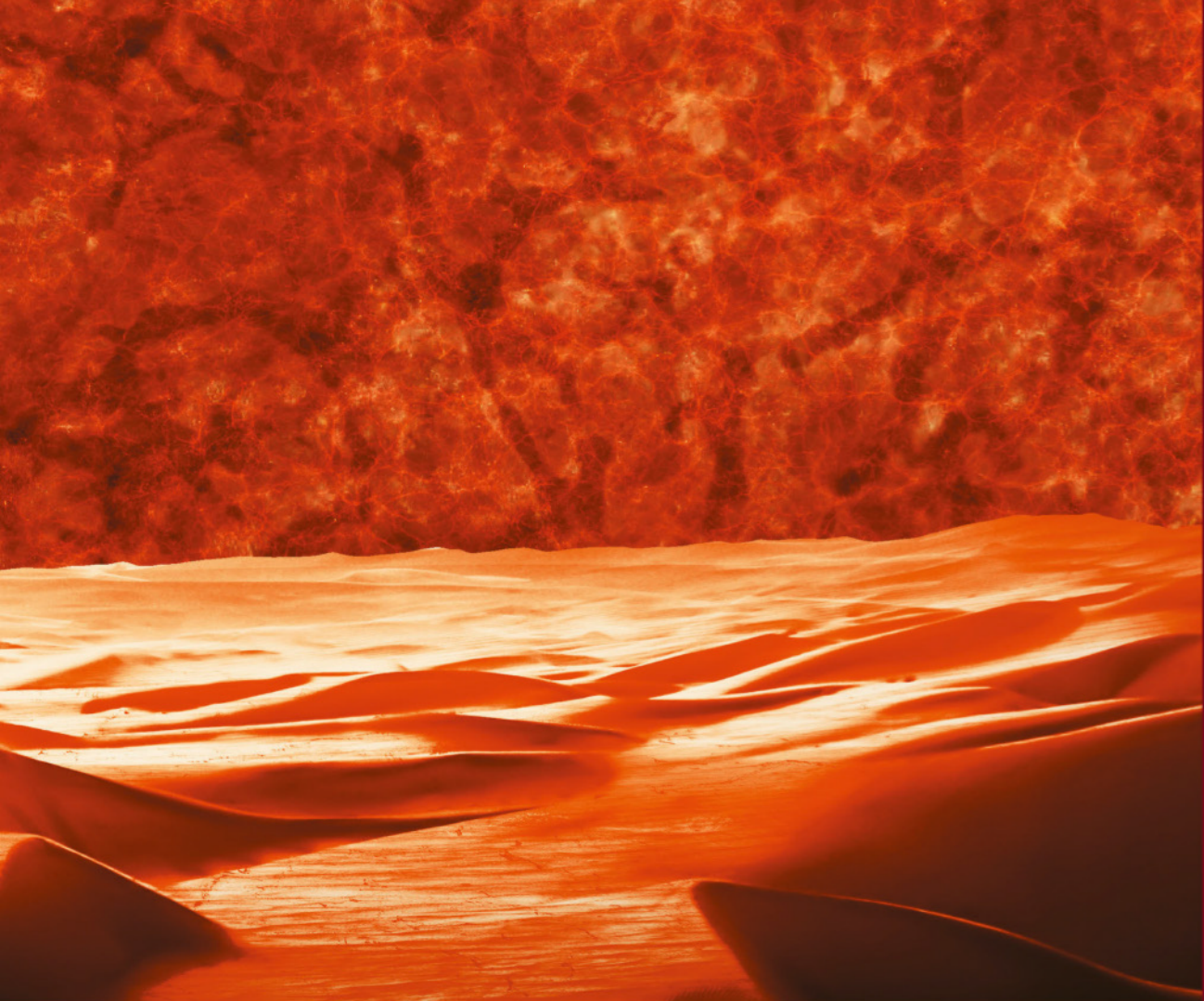
rouges à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Seulement c'est écrit: le jour viendra où cette belle machinerie sera à court de combustible. Les réserves d'hydrogène au cœur du Soleil ne sont pas infinies.

Dans 7,59 milliards d'années il viendra à manquer, et les réactions de fusion raréfiées ne parviendront plus à compenser la contraction de l'étoile. Ce sera le début de la fin pour le Soleil... et ce qui l'entoure. Sous l'effet de sa contraction, la pression et la température autour de la zone centrale augmenteront alors jusqu'à un seuil critique. Et dans cette région se déclenchera la fusion de l'hydrogène en hélium.

Notre étoile deviendra une "géante rouge": tandis que le noyau rétrécira, la chaleur dégagée dans les couches supérieures du Soleil vaincra sa gravité.

## RÉGOLITHE TERRESTRE

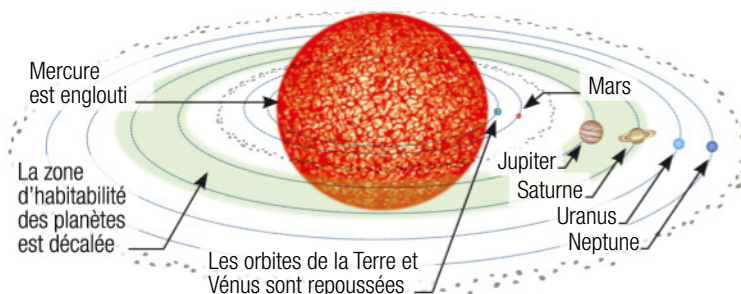
Et notre étoile gonflera. Sa surface, de plus en plus rouge, progressera lentement vers l'orbite de Mercure, qu'elle finira par carboniser. Vénus en réchappera de justesse, repoussée par les puissants vents solaires de la géante rouge. La Terre, quant à elle, migrera sur l'orbite actuelle de Mars. Son atmosphère, si elle existe encore, sera soufflée dans l'espace et sa surface réduite en poussière.



Littéralement: tout comme la Lune subit de plein fouet les vents solaires qui dégradent ses roches et les transforment en régolithe lunaire, notre planète se couvrira de “régolithe terrestre”.

Pendant ce temps, à l’intérieur du Soleil, une pluie de cendres d’hélium produite par la fusion de l’hydrogène tombera depuis les couches supérieures vers son cœur, dont la densité augmentera – et la chaleur avec elle, jusqu’à plus de 100 millions de degrés. Or, à cette température, l’hélium lui-même peut se mettre à fusionner! Un “flash d’hélium” surviendra soudainement: en quelques minutes, 6 % du

### Un Système solaire chamboulé



noyau et 40 % de la masse totale du Soleil se transformeront en carbone. “Ce sera la fin de l’étape de géante rouge, raconte Andrea Chiavassa, notre étoile se transformera en ce que nous appelons une étoile AGB,

abréviation anglaise de ‘branche asymptotique des géantes’.” L’astre auquel nous devons tant ne ressemblera alors même plus à une étoile, mais plutôt à une fournaise à peine sphéroïdale, secouée →

de contractions qui éjecteront des chapes de gaz gigantesques à des vitesses supersoniques, tout en continuant d'enfler jusqu'à 200 fois son rayon actuel.

Cette fois, Vénus n'en réchappera pas. Et la Terre non plus. *"Elle perdra son moment angulaire orbital du fait des changements du champ de gravitation du Soleil géant, qui lui-même aura perdu sa rotondité"*, explique Andrea Chiavassa. En clair: notre planète ralentira et tombera dans le Soleil. *"Des études on montré qu'il aurait fallu qu'elle soit initialement éloignée à plus de 15% de sa position actuelle pour avoir une chance de s'en sortir"*, poursuit le chercheur.

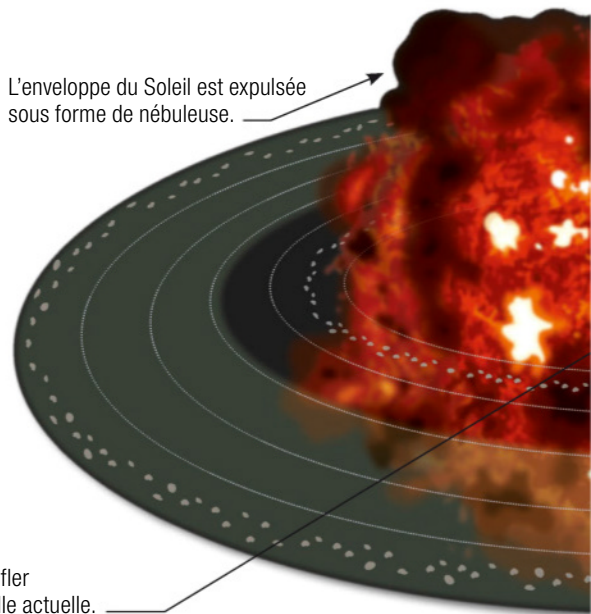
#### BRUNO BOURGEOIS - LIVIO CHIAVASSA - REBATTU DÉTRUITS PAR LA FORCE CENTRIFUGE

Mars aura peut-être cette opportunité. Mais la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter, elle, devrait être réduite en miettes, et ce pour une tout autre raison: "l'effet Yorp" (abréviation de Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack, les chercheurs qui l'ont théorisé) postule que la différence d'illumination par le Soleil

### La nébuleuse souffle tout sur son passage !

Après avoir passé 1 milliard d'années sous forme de géante rouge, le Soleil se changera en une fournaise secouée de contractions et continuera d'enfler tout en éjectant des gaz incandescents. Ce qui signera la fin du Système solaire tel qu'on le connaît.

L'enveloppe du Soleil est expulsée sous forme de nébuleuse.



Le Soleil continue d'enfler jusqu'à 200 fois sa taille actuelle.

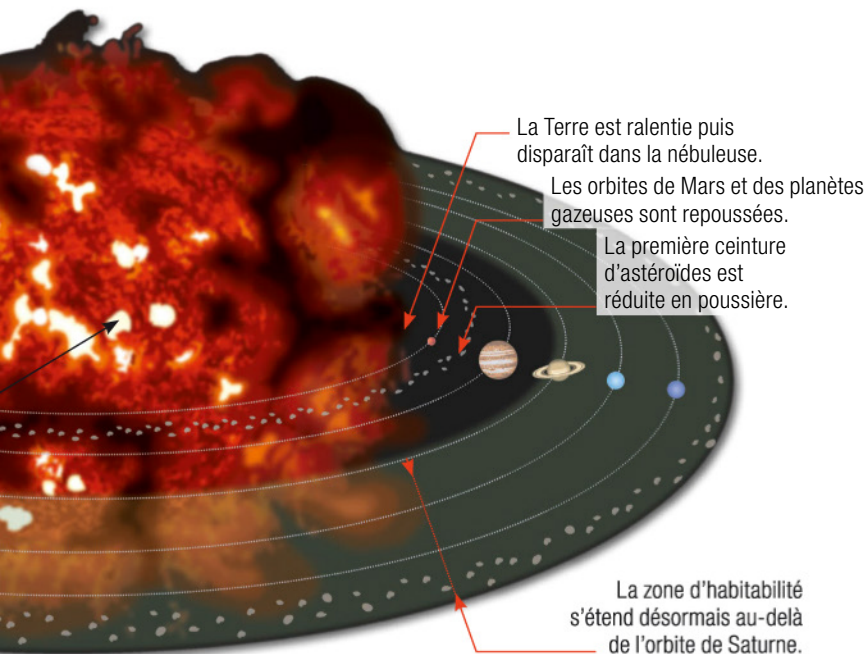
des différentes faces d'un astéroïde asymétrique accélère sa rotation propre. *"Or, lors du stade AGB, la luminosité du Soleil sera multipliée par 1000"*, explique Dimitri Veras, de l'université de Warwick, au Royaume-Uni. *"L'effet Yorp sera démesuré: il accélérera tant la rotation des astéroïdes que leur résistance mécanique interne ne pourra plus le supporter. Ils finiront par se*

*déchirer sous l'effet de la force centrifuge."* Le chercheur a calculé que la majorité des astéroïdes de 100 m à 10 km de diamètre seront détruits dans un rayon de 1 milliard de kilomètres autour du Soleil, soit au-delà de l'orbite de Jupiter!

Enfin, plutôt l'orbite actuelle de Jupiter... Car à cette époque, la géante aura reculé, tout comme ses trois titanesques sœurs. Les chercheurs estiment qu'à la fin du stade AGB, le Soleil aura perdu la moitié de sa masse: son emprise gravitationnelle s'en trouvera affaiblie, les orbites planétaires se relâcheront, et les planètes devraient se stabiliser à une distance deux fois supérieure à l'actuelle. Toutefois, la luminosité qu'elles reçoivent continuera d'augmenter: elles devraient chauffer et... enfler à leur tour! À quel point? *"Difficile à dire"*, explique Martin Turbet, spécialiste des atmosphères planétaires au Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris. *"Le calcul n'est pas évident, il nécessite de plus une modélisation dédiée prenant méticuleusement en compte l'évolution temporelle du Soleil et de la structure interne des planètes."*

## La 9<sup>e</sup> planète qui pourrait tout changer

Depuis la rétrogradation de Pluton au rang de planète naine en 2006, le Système solaire compte officiellement 8 planètes. Officieusement, le comportement de certains astéroïdes au-delà de Neptune laisse à penser qu'ils sont sous l'influence gravitationnelle d'une 9<sup>e</sup> planète, si lointaine qu'elle n'a pas été détectée! *"Si elle existe, elle pourrait représenter un sérieux danger pour les autres durant la phase de géante rouge"*, affirme Dimitri Veras. Selon ses calculs, la perte de masse du Soleil rendrait en effet cet astre plus sensible à la gravité extérieure de la galaxie, ce qui pourrait perturber son orbite. Au lieu de rester confinée à la périphérie du Système, la planète fantôme s'engouffrerait vers son centre, déstabilisant les autres planètes qui finiraient éjectées ou englouties par la géante rouge...



Cette compétition entre augmentation de la luminosité et recul des orbites planétaires joue sur une autre caractéristique clé du Système solaire: l'évolution de sa zone habitable, cette région ni trop chaude ni trop froide autour d'une étoile où l'eau –ingrédient nécessaire à l'émergence et la pérennité de formes de vie– peut se trouver sous forme liquide. Actuellement, cette région englobe les orbites de la Terre et de Mars. Mais à mesure que le Soleil augmente en luminosité, elle glisse peu à peu vers l'extérieur du Système solaire. Lors du stade de géante rouge, puis de l'AGB, elle reculera brutalement... mais les planètes également: savoir quelle planète sera alors à quel moment en zone habitable est un véritable casse-tête!

### DE GELÉES À VAPORISÉES

Une chose est certaine: au plus fort de l'AGB, lorsque la Terre aura été détruite, la zone habitable devrait balayer Jupiter et s'étendre par-delà Saturne, jusqu'à 100 fois la distance actuelle Soleil-Terre. Évidemment, aucune forme de vie ne peut se développer sur ces planètes

dénuées de surface matérielle. Mais l'une comme l'autre sont escortées de dizaines de petites lunes de glace, Encelade, Europe, Titan... qui pourraient fondre sous la chaleur! La glace formera-t-elle des océans qui serviront d'incubateurs à de nouvelles formes de vie extraterrestre? Et tout recommencerait? Las, rien n'est moins sûr.

En 2017, une équipe menée par Jun Yang, de l'université de Pékin, en Chine, s'est penchée spécifiquement sur cette question. Elle a conclu que du fait de l'albédo très élevé des lunes glacées –la part de rayonnement qu'elles réfléchissent au lieu d'absorber– leur destin est plutôt de basculer brutalement d'un état totalement gelé vers un état où toute l'eau est vaporisée. Sans passer par des océans d'eau liquide, donc. *“Je ne pense pas que ce soit une réponse définitive à la question, car il reste encore quelques inconnues, tempère Martin Turbet. Notamment, on ne sait pas bien comment cet albédo évoluera dans le temps du fait des changements de propriétés de la glace et du Soleil lui-même, et du dégazage éventuel*



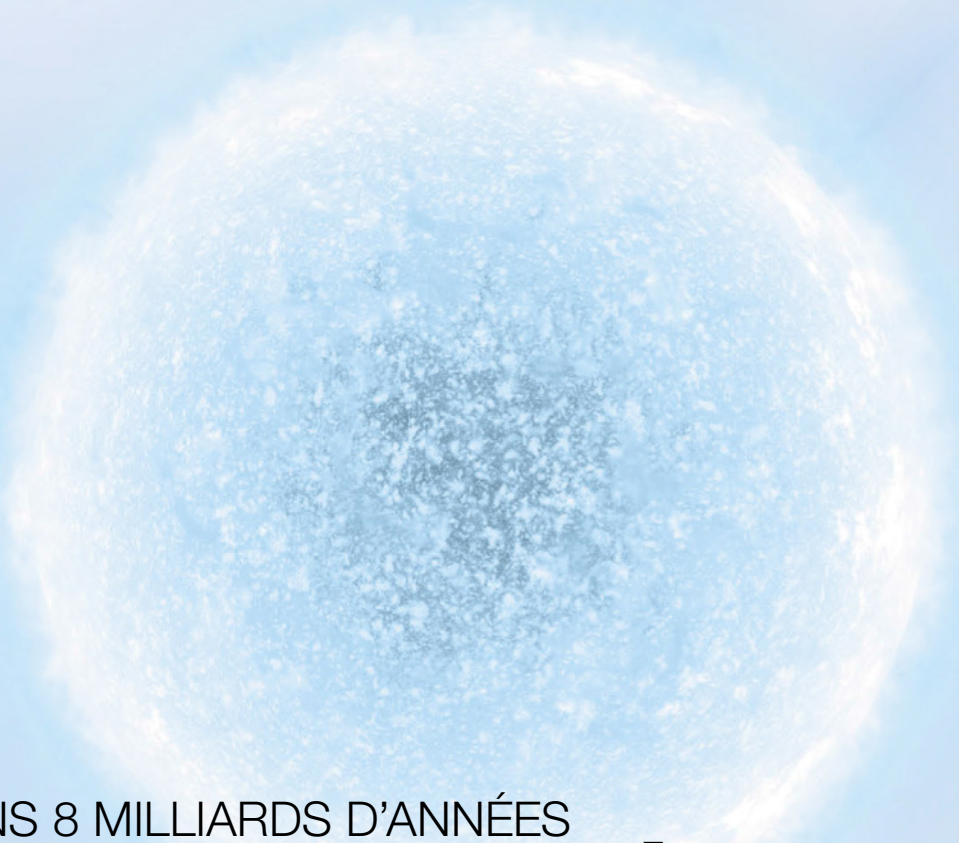
*Il aurait fallu que la Terre soit initialement éloignée à plus de 15 % de sa position actuelle pour avoir une chance de s'en sortir*

ANDREA CHIAVASSA  
Astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur



*de molécules avec le chauffage de la croûte glacée.”* Tout espoir d'une vie post-Soleil n'est donc pas perdu, des calculs futurs le diront...

Il n'empêche: le Soleil est condamné. La physique stellaire montre qu'après la phase AGB, quand l'hydrogène puis l'hélium de son cœur auront été entièrement consumés, l'astre expulsera son enveloppe dans l'espace en une sublime nébuleuse planétaire. En 10 000 ans, la nébuleuse se dissipera, et tout ce gaz partira ensemencer des nuages cosmiques qui serviront de nutriments à la naissance d'autres étoiles et de nouvelles planètes. Et après la tempête? Un calme relatif devrait à nouveau régner sur ce qu'il reste de notre Système solaire. Mais son histoire n'est pas terminée: voici qu'à son crépuscule, une naine blanche se lève... →



DANS 8 MILLIARDS D'ANNÉES

# SOUS LA LUMIÈRE FANTOMATIQUE D'UNE NAINNE BLANCHE

Du Soleil, il ne reste que le cœur, mais l'étoile est cliniquement morte. Et si les géantes gazeuses ont survécu, le Système solaire s'est totalement disloqué.

GRÉGOIRE CIRADE - B. BOURGEOIS

**L**e roi Soleil est mort... Vive le roi ! Nous sommes en l'an 8 milliards de notre ère. La nébuleuse planétaire achève de se dissiper ; Mercure, Vénus et la Terre ont disparu ; Mars... nul ne peut l'affirmer. Les géantes gazeuses ont en tout cas survécu. Et voilà qu'une petite sphère incandescente émerge au

centre du Système. C'est le cœur du soleil mis à nu : un astre de la taille de la Terre, où se concentre 60 % de la matière qui constituait autrefois son noyau, le reste ayant été soufflé dans l'espace durant la phase de géante rouge. Désormais, le Soleil n'est plus une étoile à proprement parler, il n'est le siège d'aucune réaction chimique, la

fusion de l'hydrogène est de l'hélium sont stoppées. C'est une "naine blanche", un astre cliniquement mort, un plasma baigné d'électrons libres et de noyaux d'atomes de carbone et d'oxygène, écrasés les uns contre les autres à des pressions incommensurables : la masse volumique d'une naine blanche grimpe à 1 t/cm<sup>3</sup> !



C'est la première fois qu'un tel état de la matière apparaît dans le Système solaire, en 12 milliards d'années d'existence. Et si le Soleil ne s'effondre pas sur lui-même, c'est parce qu'en vertu des lois de la physique quantique, les électrons ultra-comprimés vibrent avec une énergie capable d'exercer une contre-pression dite "de dégénérescence", et de supporter le poids de l'étoile. *"Les naines blanches sont des objets fascinants à étudier, car cela suppose de marier la physique des plasmas à haute précision avec l'aspect exotique et quantique de la matière à l'intérieur,* témoigne Pier-Emmanuel Tremblay, spécialiste à l'université de Warwick, au Royaume-Uni. *Et vu que dans des dizaines et dizaines de milliards d'années, l'Univers sera principalement composé de naines blanches, les étudier, c'est être au top de l'avant-garde! Il reste énormément de choses à comprendre sur ces objets."*

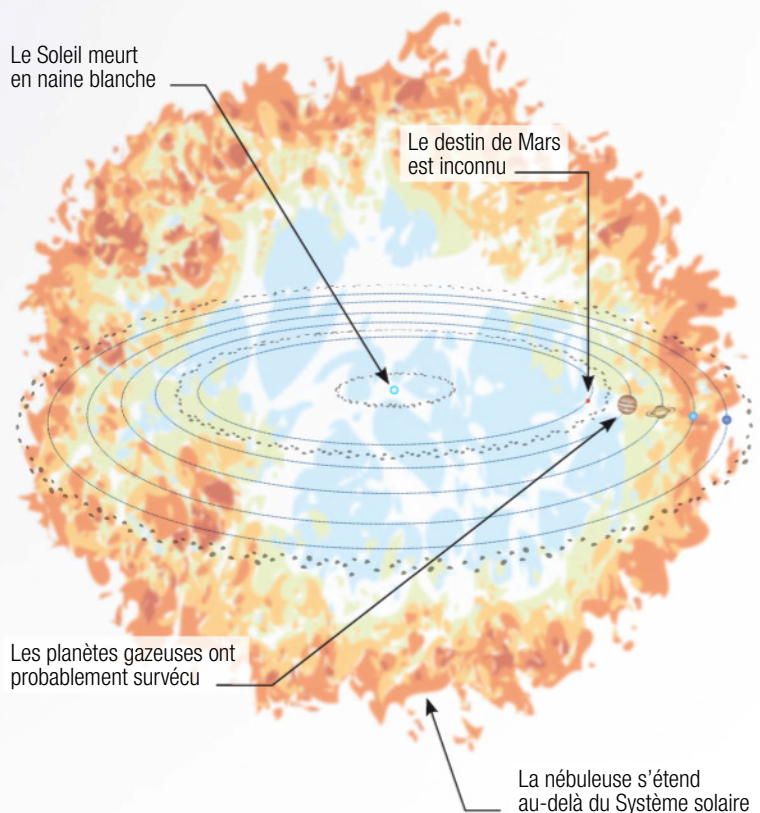
### TREMBLEMENTS "DE TERRE"

Que peut-on déjà dire de ce Soleil-fantôme? Il y a deux ans, le chercheur a démontré qu'en refroidissant, son intérieur se solidifiera en un cristal de carbone et d'oxygène, s'apparentant à un métal opaque et conducteur, qui, en 1 milliard d'années, envahira jusqu'à 99% du volume de l'astre. La basse température devrait aussi condenser son atmosphère, conférant à sa surface le comportement d'un liquide. En outre, les naines blanches sont secouées par des sortes de tremblements "de Terre", des phases intermittentes durant chacune des millions d'années, nommées "pulsations" – le Soleil devrait en subir au moins une.

Las, pour le vérifier, il faudrait patienter au moins... 8 milliards d'années. En attendant, les spécialistes des naines blanches se rabattent sur des modèles théoriques, dont ils éprouvent la validité en observant les étoiles qui, autour de nous, ont déjà atteint ce fameux stade. Car on en a désormais la preuve: elles pullulent dans la Galaxie! C'est l'un des apports majeurs du satellite européen Gaia, qui en a découvert 360 000 dans la Voie lactée, alors que l'on en dénombrait seulement 30 000 avant l'année 2018.

Et encore, les chercheurs prévoient une explosion de la quantité et de la précision des données dans les prochaines années, grâce à Gaia, mais aussi au télescope James-Webb, aux satellites Euclid et Roman Space Telescope, et à tout un tas de télescopes au sol. Lorsqu'ils disposeront d'une population statistiquement significative de naines blanches, chacune à un stade différent de leur histoire, ils pourront mesurer l'évolution de leur luminosité, de leur température, de leurs pulsations au cours du temps. *"Et de leur pollution également,* ➔

### Un Système solaire méconnaissable





*Il y a de la poésie dans le fait qu'un système apparemment immuable ait en réalité eu un début, et aura une fin*

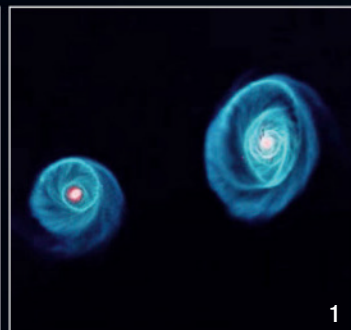
KONSTANTIN **BATYGIN**

Astronome à l'Institut de technologie de Californie (États-Unis)

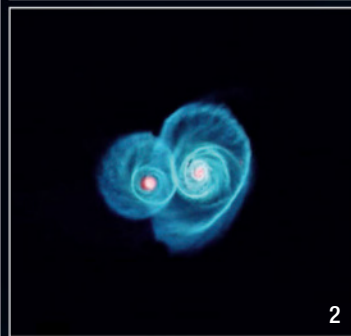


## Et pendant ce temps, Andromède fusionne avec la Voie lactée

La galaxie d'Andromède fonce vers nous à 100 km/s ! Aujourd'hui à 2,55 millions d'années-lumière, elle devrait fusionner avec la Voie lactée à la même époque environ que la mort du Soleil. À moins qu'elle ne nous rate, effectue un premier survol, puis revienne pour une véritable fusion dans 10 milliards d'années, lorsque le Soleil sera devenu une naine blanche. *"En raison de sa grande distance, la vitesse en 3D d'Andromède est difficile à mesurer, explique Jean-Baptiste Salomon, de l'Observatoire de Strasbourg. Aussi les barres d'erreur sur la date de la fusion sont gigantesques."* En prenant une hauteur incommensurable, cet événement est certes fracassant, mais il ne changera en rien le destin des planètes du Système solaire. Les galaxies sont surtout composées de vide : si les étoiles étaient des grains de sable, leur distance moyenne serait d'une centaine de kilomètres ! Deux galaxies qui s'interpénètrent ne changent donc pas fondamentalement la donne. Le ciel nocturne, par contre, sera radicalement différent : Andromède sera de plus en plus énorme sur la sphère céleste, jusqu'à l'envahir tout entière (*image en haut, à droite*) !



1



2



3

ajoute Alexander Mustill, de l'observatoire de Lund, en Suède. *C'est une des problématiques majeures actuelles : on a détecté des traces de roche inattendues dans le spectre lumineux de 1 000 naines blanches, et on soupçonne que cela pourrait concerner la moitié d'entre elles.* L'explication généralement avancée invoque des pluies d'astéroïdes, eux-mêmes préalablement décrochés de leur orbite par le passage en naine rouge de l'étoile qui a tout balayé. Les calculs d'Alexander

Mustill montrent ainsi que le Soleil recevra 1 tonne par seconde de matériau rocheux durant les premiers milliards d'années suivant sa mort en géante rouge. Mais, justement : ce taux reste 100 fois trop bas par rapport à ceux des naines blanches actuellement observées. *"Peut-être que le Système solaire n'est pas tellement représentatif de ce qui se passe ailleurs"*, conclut l'expert.

Il se pourrait ainsi que, dans les autres systèmes, les orbites des planètes géantes soient davantage

perturbées durant la phase de naine rouge que ce qui est prévu pour le Système solaire. Et qu'un désordre régnant parmi les astéroïdes y soit d'autant plus impacté.

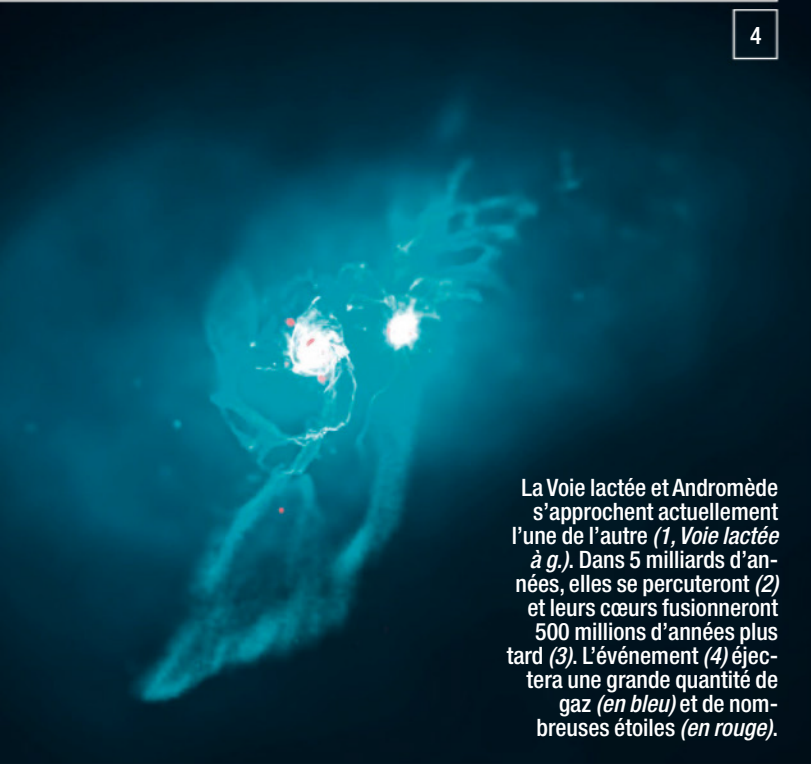
### LE SYSTÈME SOLAIRE EN ÉQUILIBRE

Alors, quel destin pour les géantes gazeuses de notre système, ultimes survivantes, sous le règne de la naine blanche ? Une poignée d'études ont frayé ce chemin spéculatif : la plus aboutie à ce jour est celle menée par Jon Zink et

CHRISTOPHER MICHEL - ICRAR/3 - NASA, ESA, Z. LEIVY AND R. VAN DER MAREL (STSC), T. HALLAS, AND A. MELLINGER - ICRAR



4



La Voie lactée et Andromède s'approchent actuellement l'une de l'autre (1, Voie lactée à g.). Dans 5 milliards d'années, elles se percuteront (2) et leurs cœurs fusionneront 500 millions d'années plus tard (3). L'événement (4) éjectera une grande quantité de gaz (en bleu) et de nombreuses étoiles (en rouge).

Konstantin Batygin, de l'Institut de technologie de Californie, aux États-Unis. Armés d'une feuille, d'un crayon... et d'une batterie d'ordinateurs, les chercheurs ont entrepris, en 2020, de simuler l'évolution de l'orbite des planètes géantes, une fois que le Soleil aura terminé sa phase d'étoile AGB. Une quête "magnétique", dévoile Konstantin Batygin : "Il y a de la poésie dans le fait qu'un système apparemment immuable ait en réalité eu un début, et aura une fin."

Premier résultat : la perte de masse du Soleil, qui éloignera les planètes du centre, placera également Jupiter et Saturne en "résonance 5:2" : Jupiter fera cinq tours du Soleil pendant que Saturne en effectuera deux. Or les lois de la mécanique céleste stipulent que cette régularité orbitale maintiendra le Système solaire dans un certain état d'équilibre pendant des milliards d'années.

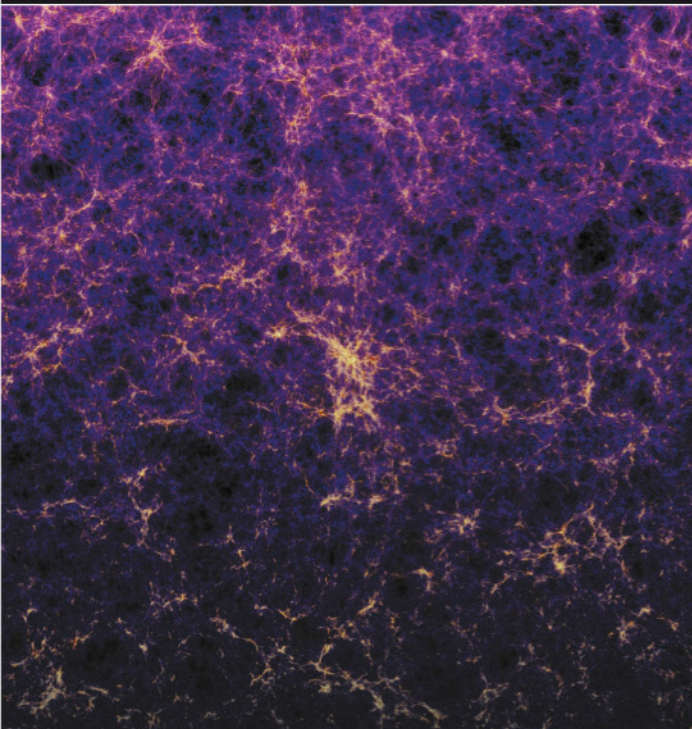
Quasiment à jamais ? Non, un événement est statistiquement inévi-

table... Un jour, durant les 30 milliards d'années qui suivront, une autre étoile s'approchera forcément à moins de 200 fois la distance actuelle Terre-Soleil, et brisera ce fragile équilibre. Son attraction s'opposera à celle du Soleil et perturbera les orbites de Jupiter et Saturne, qui sortiront du régime de résonance. À leur tour, elles affecteront Uranus et Neptune. "Cette réaction en chaîne sèmera le chaos dans le système solaire, décrit Jon Zink.

### TOUS ÉPARPILLÉS DANS LA GALAXIE

Un chaos tranquille, cependant : il n'aura l'air de rien à première vue. Mais son issue sera inéluctable : 10 milliards d'années après le passage de l'étoile, Neptune, Uranus et Saturne acquerront une vitesse qui les émancipera du champ de gravité du Soleil, s'éjecteront du Système solaire, et partiront sans retour vers les profondeurs de l'espace interstellaire, laissant Jupiter orbiter seule autour de la naine blanche durant 50 milliards d'années supplémentaires.

"Entre-temps, le Soleil aura refroidi et se sera éteint au point qu'il ne sera plus détectable avec les télescopes actuels", explique Pier-Emmanuel Tremblay. De naine blanche il passera à naine noire, un type d'astre en toute rigueur hypothétique, puisque l'Univers, né il y a seulement 13,8 milliards d'années, est encore trop jeune pour lui avoir donné naissance. Toujours est-il que notre Soleil si précieux et les planètes dont nous sommes si proches seront éparpillés dans la Galaxie et continueront leur chemin en solitaire. Le Système solaire tel qu'on le connaît ne sera plus qu'un lointain souvenir. Mais l'Univers, lui, n'en aura toujours pas fini. →

Dans  $10^{11}$  annéesDans  $10^{14}$  années

## 1. Des îlots de matière se forment

Après que la Voie lactée aura fusionné avec la géante Andromède pour former la monstrueuse galaxie elliptique Milkomeda, celle-ci nettoiera les dizaines de mini-galaxies satellites qui orbitent autour, avalant les unes et éjectant les autres. Elle demeurera alors seule dans sa région de l'Univers et verra ses voisines, elles-mêmes fruits de la fusion d'anciennes galaxies, s'éloigner irrémédiablement sous l'effet de l'expansion de l'Univers... jusqu'à disparaître au-delà de l'horizon cosmique. La toile cosmique ci-dessus, qui illustre la répartition de la matière dans le cosmos, s'étiolera. Ne subsisteront plus que ses nœuds, qui s'éloigneront toujours plus avec le temps. Dans quelques centaines de milliards d'années, observer les autres galaxies ne sera plus physiquement possible – l'Univers observable ne contiendra plus qu'une unique galaxie : la nôtre. Nos descendants, s'ils existent, n'auront alors plus aucun moyen physique de constater que l'Univers est en expansion, ou qu'il a eu une naissance, le big bang.

## 2. La Galaxie devient un cimetière

Après le Soleil, les autres étoiles de notre Galaxie s'éteindront une à une. Les plus massives meurent jeunes, en laissant derrière elles des étoiles à neutrons ou des trous noirs. Les plus petites ont une durée de vie inversement proportionnelle au cube de leur masse : une étoile 10 fois moins massive que le Soleil vit environ 1 000 fois plus longtemps, soit 10 000 milliards d'années. Bien sûr, de nouvelles générations d'étoiles naissent en continu... mais le jour viendra où le gaz disponible se raréfiera, et où leur taux de formation chutera drastiquement. Dans  $10^{14}$  ans, soit 100 000 milliards d'années, la Galaxie ne sera alors plus peuplée que de cadavres stellaires, dont 90 % de naines blanches. Certes, il restera les planètes et les naines brunes, des étoiles avortées trop peu massives pour démarrer seules les réactions de fusion nucléaire. À de très rares occasions, celles-ci se rencontreront et fusionneront pour donner naissance à de toutes dernières étoiles... Mais à leur tour, ces ultimes lumières s'éteindront à jamais, dans  $10^{22}$  années.



# DE L'UNIVERS ?

Dans  $10^{22}$  années

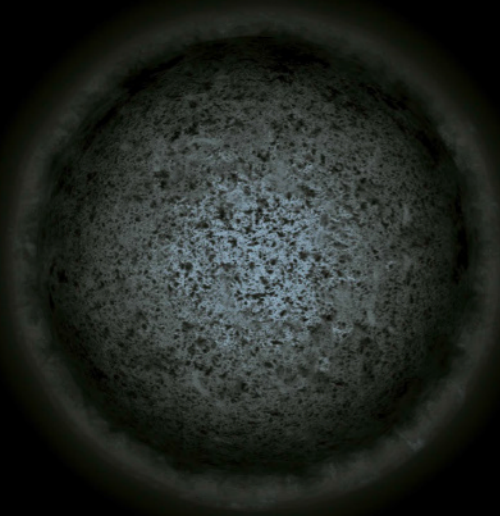
Dans  $10^{65}$  années

## 3. Les galaxies s'évaporent

Une fois que les planètes de la Galaxie auront toutes été éjectées ou avalées par leur étoile, dans  $10^{16}$  années, ces dernières continueront seules leur ronde autour du centre galactique. Parfois, leurs orbites se croiseront : elles échangeront alors de l'énergie gravitationnelle, qui catapultera l'une d'elles hors de la Galaxie, tandis que l'autre se rapprochera du centre. Ainsi, au gré des rencontres et du temps, chaque galaxie se videra peu à peu de toutes ses naines blanches, de ses étoiles à neutrons, de ses trous noirs stellaires, mais aussi de ses naines brunes et de ses planètes... Un processus que les astrophysiciens appellent "l'évaporation" des galaxies : à terme, plus de 90 % des astres – tous types confondus – auront été éjectés dans l'espace intergalactique, tandis que le reste finira ingurgité par le trou noir. Quel sera le destin particulier du Soleil et des planètes de notre Système solaire ? Impossible à prédire. En tout cas, dans  $10^{22}$  années, tous les astres auront été éjectés ou détruits. En lieu et place des galaxies, il ne subsistera que leur trou noir supermassif.

## 4. Tout devient noir et sphérique

Dans  $10^{15}$  ans, le Soleil sera d'un noir d'encre. Comme toutes les naines blanches, il aura refroidi jusqu'au zéro absolu et n'émettra plus de rayonnement d'aucune sorte, ce qui le rendra parfaitement indétectable sur le fond noir du cosmos. Ce sera également le cas des planètes éparpillées dans le vide spatial, et de tous les objets de l'Univers. *"Ce ne sera pourtant pas la fin de l'histoire, remarque Alain Riazuelo, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Car même si la matière est figée, des effets quantiques font qu'à de très longues échelles de temps, un solide se comporte en réalité comme un liquide visqueux."* Sous l'effet de leur propre gravité, les atomes glisseront alors les uns au-dessus des autres, et se réarrangeront dans une forme plus stable : la sphère parfaite. Dans  $10^{65}$  ans, toutes les choses, des planètes aux poussières, deviendront des boules de diamètres divers, plus noires que du charbon, et infiniment froides.



Dans  $10^{100}$  annéesDans  $10^{100\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000}$  années

## 5. Les trous noirs disparaissent à leur tour

Le phénomène fut prédit par Stephen Hawking en 1974 : les trous noirs ne sont pas absolument hermétiques, comme on le pensait jusqu'alors. Leur frontière, d'où rien ne peut théoriquement s'échapper – pas même la lumière –, est le siège de phénomènes quantiques qui, paradoxalement, génèrent un infime rayonnement vers l'extérieur du trou noir. Des particules, électrons, positrons et autres neutrinos parviennent à s'en extirper, dans un processus d'autant plus lent que la masse du trou noir est importante. Cette évaporation des trous noirs est totalement négligeable à notre échelle, mais il n'empêche : à extraordinairement long terme, tous perdent de la masse. En  $10^{65}$  années, un trou noir d'une masse solaire s'évapore totalement, et les trous noirs supermassifs subissent le même sort en environ  $10^{98}$  ans. Ces monstres cosmiques disparaîtront alors pour l'éternité, sans laisser derrière eux la moindre trace de leur existence.

SHUTTERSTOCK - B.BOURGEOIS x 2 - NASA, ESA, CSA, STSCI, WEBB ERO PRODUCTION TEAM

## 6. Il ne reste que des billes de fer

"*Tout ce qui a une probabilité non nulle de se produire finira toujours par se produire si on a une infinité de temps*", rappelle Alain Riazuelo. Ainsi, la physique quantique autorise que deux atomes contigus surmontent leur répulsion électrostatique par effet tunnel. Ils peuvent alors se superposer et fusionner en un nouvel atome qui, s'il n'est pas absolument stable, finira inévitablement par se désintégrer ou se transformer en un nouvel atome... et ce jusqu'au fer 56, l'élément le plus stable de l'Univers. Dans  $10^{1500}$  ans, les sphères de l'Univers seront ainsi toutes constituées d'atomes de fer pur. Et parce que ce n'est pas totalement interdit par les lois de la physique, de petites régions de ces sphères de fer s'effondreront parfois sur elles-mêmes pour former des micro-trous noirs, qui s'évaporeront instantanément. Dans  $10^{10^{26}}$  années, toute la matière de l'Univers se sera alors volatilisée en particules élémentaires éparses. Seules demeureront des billes de fer de moins de 20  $\mu\text{g}$ , la masse de Planck, qui ne pourront pas s'effondrer. Elles seront les ultimes vestiges de l'Univers.

Dans  $10^{38}$  années

Dans  $10^{11}$  années



### Scénario alternatif 1 : même le proton se désintègre

Toutes ces prédictions de fin de l'Univers sont basées sur les lois de la physique actuelles, considérées comme vraies... jusqu'à preuve du contraire! Or le proton pourrait venir tout chambouler. "Le modèle standard des particules considère que le proton est infiniment stable, explique Alain Riazuelo. Sauf que les spécialistes sont convaincus qu'une physique existe au-delà de ce modèle, et qu'elle imposera une finitude à la durée de vie du proton." Concrètement, les quarks qui le constituent pourraient interagir entre eux et désintégrer le proton en photons et positrons, qui sont des particules élémentaires stables. "La durée de vie minimale du proton est aujourd'hui estimée à  $10^{34}$  années... mais elle pourrait être arbitrairement élevée", poursuit le chercheur. Dans ce scénario, comme les atomes des étoiles et des planètes sont constitués de protons, tous les corps de l'Univers finiraient en fait par se désintégrer... pour ne laisser derrière eux qu'un Univers barré de particules élémentaires et de trous noirs en train de, lentement, s'évaporer.

### Scénario alternatif 2 : l'Univers renaît en un éternel recommencement

Découverte en 1998, l'énergie noire est l'une des grandes énigmes de la physique. Personne ne sait ce dont elle est constituée, mais ses effets sur l'Univers sont flagrants : elle accélère son expansion en s'opposant à la gravité globale, qui tend à rapprocher les galaxies entre elles. Si l'énergie noire conserve ses propriétés actuelles, l'expansion devrait donc durer indéfiniment... Mais que se passerait-il si son intensité diminuait ? Cette énergie pourrait alors laisser la gravité reprendre le dessus, faisant entrer l'Univers dans une phase de contraction symétrique au big bang, que les cosmologues appellent "big crunch". Dans 100 milliards d'années périrait alors l'Univers, pour mieux renaître, peut-être. La théorie du "big bounce", le grand rebond, prévoit qu'à ce big crunch succéderait un nouveau big bang donnant naissance à un nouvel Univers, avec ses galaxies, ses soleils, ses planètes, sa vie... Comme un phénix, le monde ne cesserait de renaître de ses cendres. Et dans un Univers précédent, *Science & Vie* l'aura sans doute déjà décrit, comme il le fera certainement dans le prochain.



# PARTICIPEZ au grand jeu concours



Tirage au sort prévu le 31 décembre

## Plus de 10 000€ de lots à gagner !



### Une croisière entre Égypte et Jordanie pour 2 personnes

(valeur 3698€)

Un itinéraire magique, une croisière le long de la péninsule du Sinaï à bord d'un navire à taille humaine de 100 cabines, le MS La Belle de l'Adriatique.

### 10 valises cabine Delsey®

(valeur 179€)

Petite et pratique, elle permet d'emporter toutes les affaires utiles pour un déplacement de quelques jours.



### 60 stylos CROSS®

(valeur 52€)

Stylo Cross, une icône du design et de l'innovation.

Le choix des innovateurs et des pionniers depuis 1946.



### 7 Trivial Pursuit Science & Vie

(valeur 39,99€)

Jouez avec tous les membres de votre famille. 1800 questions de science pour tout âge.



### 32 boîtes de jeu Le « Grand Quiz » Science & Vie

(valeur 19,90€)

Pas moins de 600 questions composent ce jeu, 6 rubriques de 100 fiches qui reprennent les thématiques du magazine.

**Scannez le QR code pour participer  
au grand jeu concours des 110 ans de science & vie**

Jeu concours par tirage au sort organisé du 1 avril 2023 au 30 décembre 2023.

Règlement et formulaire consultables sur:

[www.kiosquemag.com/landing/formulaire-grand-jeu-110ans](http://www.kiosquemag.com/landing/formulaire-grand-jeu-110ans)





# SPÉCIAL 110 ANS

## Profitez de 5 MOIS OFFERTS

### sur 1 an d'abonnement

**56€** par an  
seulement  
au lieu de 107,12€



- ✔ Plus de 15 ans d'archives
- ✔ **SCIENCE & VIE TV**  
le replay et le streaming de la chaîne
- ✔ Version numérique incluse dans votre abonnement, à consulter sur [Kiosquemag.com](http://Kiosquemag.com)

**BULLETIN D'ABONNEMENT** Complétez le formulaire et le retourner sous enveloppe affranchie à : Science et Vie Abonnements - 59898 Lille cedex 9

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

# M030 # D1510833

**L'OFFRE 1 AN** - 12 N° par an <sup>(1)</sup>  
**56€/an + l'accès au site Science & Vie (dont TV)**  
au lieu de 107,12€ **-48%**

Mon abonnement se renouvellera automatiquement à date anniversaire sauf résiliation de ma part.  
Je remplis le mandat ci-dessous accompagné de mon RIB ou je joins un chèque (sans scotch ni agrafe)  
à l'ordre de Science & Vie.

1 | 1

**L'OFFRE LIBERTÉ** - 1 N° tous les mois <sup>(2)</sup>  
**4,60€/mois + l'accès au site**  
**Science & Vie (dont TV) au lieu de 8,93€** **-48%**

Je remplis le mandat ci-dessous accompagné de mon RIB.  
Après la première année, je serai prélevé de 4,90€.

1 | 2

Je complète l'IBAN ci-dessous à l'aide de mon Relevé d'identité Bancaire (R.I.B)

IBAN :

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

Date :

Signature obligatoire :

**Plus rapide, simple et 100% sécurisé !**

Scannez le QR code  
ou rendez-vous sur  
[bit.ly/promo-page-sv-1275](http://bit.ly/promo-page-sv-1275)



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

Nom\*\* :  Prénom\*\* :

Adresse\*\* :

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

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

Email :

(Utilisez pour accéder à votre magazine en numérique et à votre espace client sur [Kiosquemag.com](http://Kiosquemag.com), et gérer votre abonnement)

Date de naissance :  (pour fêter votre anniversaire)

Je ne souhaite pas recevoir les offres Privilège Science&Vie et Kiosquemag sur des produits et services similaires à ma commande. Damage!

Je ne souhaite pas que mes coordonnées postales et mon téléphone soient communiqués à des partenaires pour recevoir leurs bons plans. Damage!

\*Le prix de référence à l'année se compose du prix kiosque (58,80€), des frais de port (8,83€), du site internet (4,14€).  
(1) Offre sans engagement - je peux résilier à tout moment sur simple appel ou par courrier au service client. Après 1 an, je serai prélevé de 4,90€ par mois.  
(2) Offre avec engagement : abonnement annuel automatiquement reconduit à date anniversaire. Le règlement s'effectue en une seule fois. Vous serez informé par écrit dans un délai de 3 mois avant le renouvellement de votre abonnement. Vous aurez la possibilité de l'annuler 30 jours avant la date de reconduction auprès du service client. A défaut l'abonnement sera reconduit pour une durée identique à votre abonnement initial. Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur [Kiosquemag.com](http://Kiosquemag.com) et contacter le service client par mail sur [serviceabomag.fr](mailto:serviceabomag.fr) ou encore par courrier à Reworld Media Magazines - Service Client - 40 avenue Aristide Briand - 92227 Bagneux. Offre réservée aux nouveaux abonnés en France Métropolitaine valable jusqu'au 31/01/2024. DOM-TOM et autres pays nous consulter. Vous disposez, conformément à l'article L. 221-18 du code de la consommation, d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnement. Les informations demandées sont destinées à la société REWORLD MEDIA MAGAZINES (Kiosquemag) à des fins de traitement et de gestion de votre commande, de la relation client, des réclamations, de réalisation d'études et de statistiques et, sous réserve de vos choix, de communication marketing par KiosqueMag et/ou ses partenaires par courrier, téléphone et courrier électronique. Vous bénéficiez d'un droit d'accès, rectification, d'effacement de vos données ainsi que d'un droit d'opposition en écrivant à RMM-OPD, c/o service juridique, 40 avenue Aristide Briand - 92220 Bagneux, ou par mail à [dp@reworldmedia.com](mailto:dp@reworldmedia.com). Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - [www.cnil.fr](http://www.cnil.fr). Pour en savoir plus sur la gestion de vos données personnelles, vos droits et nos partenaires, consultez notre politique de Confidentialité sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).





Ailes ananas  
étoile CŒUR  
bonheur  
chat Fruit  
Raisin Amis  
Notes Vie BOUCHE  
Rouge amour PEINTURE  
santé JOIE Orange  
chat Tendresse Sérénité papillon  
passion Fleur  
oiseau  
couleurs  
avion

Si certains peuvent convoquer tous leurs sens dans un imaginaire foisonnant, chez d'autres les pensées prennent un tour plus abstrait.



# Plongée dans le **non-imaginaire**

Difficile de concevoir l'absence d'une telle fonction du cerveau. Pourtant l'aphantasie existe bel et bien : elle désigne l'incapacité à se former des images dans la tête, bien que les yeux voient. Les neurologues commencent à s'en faire une idée.

M. TUMELAIRE - E. LOMEO D'APRÈS SHUTTERSTOCK

Figurez-vous un chemin serpente dans une forêt tropicale. Des papillons morphos d'un bleu intense jouent avec les rayons de soleil qui percent la canopée. Vous visualisez leur éclat électrique ? Peut-être entendez-vous même le coassement des grenouilles tropicales ? Si, malgré tous vos efforts, la réponse est non, alors vous êtes probablement aphantasique. Environ 3 % de la population mondiale est ainsi privée de toute capacité à se projeter des images mentales – ils ne “voient” pas dans leur tête. Une condition qui passionne les

neuroscientifiques, et dont les secrets commencent enfin à être dévoilés.

Jusqu'à ces dernières années, en effet, ces cas passaient inaperçus des médecins... comme des aphantasiques. “*Quand un proche me disait qu'il revoyait encore la déco de sa chambre d'enfant, je pensais qu'il s'agissait d'une simple métaphore, une façon de parler*”, confie Matthieu Munoz, 25 ans. Jusqu'à ce que, en 2019, il tombe sur la vidéo d'une youtubeuse qui évoque cette incapacité à se projeter des images mentales. “*J'ai entendu parler d'aphantasie pour la première fois sur les réseaux sociaux, pendant le confinement, renchérit Charlotte Langlais, 23 ans, qui a fondé avec Matthieu l'Aphantasia Club, pour communiquer sur cette condition. J'ai aussi-tôt appelé une amie pour vérifier que d'autres étaient bien capables de voir des images à volonté, j'avais du mal à y croire.*” Tous deux prennent alors conscience que leurs amis disposent d'une capacité imaginative leur permettant de voyager dans le temps et dans l'espace. Grâce à elle, ils savent afficher, dans leur théâtre intérieur, le visage d'une personne aimée qui a disparu ou d'un paysage exotique qui les a marqués. C'est aussi elle qui permet à l'architecte d'imaginer une œuvre à venir, et au couturier de concevoir sa prochaine création. Certes, les sensations générées par le cerveau sont souvent fugaces, plus ou moins vagues... mais elles sont bien là. →

BRUNO BOURGEOIS

Sauf que certains naissent, comme Matthieu et Charlotte, sans cette capacité d'évocation. D'autres la perdent après un accident : c'est le cas de M. X, un patient rencontré en 2005 par le neurologue Adam Zeman, de l'université d'Exeter (Royaume-Uni). *"Après une petite intervention chirurgicale, une angioplastie, ce géomètre s'est plaint de ne plus pouvoir évoquer d'images intérieures. Quand il lisait un roman, il ne se*

*représentait plus les scènes, et il avait même perdu ses rêves !"* se souvient-il. Intrigué, le chercheur étudie ce cas étrange et publie ses travaux. Relayés par la presse anglo-saxonne, ces derniers lui valent une vingtaine de courriers de lecteurs qui disent expérimenter les mêmes manques que M. X... mais depuis toujours !

Adam Zeman les rencontre, affine ses descriptions, compulse la littérature scientifique,

## Imagination vs perception

Dans un cerveau se projetant des images mentales, les signaux nerveux empruntent un trajet inverse à celui de la vision.

### ➔ Lorsque l'œil perçoit une image...

#### ① Elle est décomposée

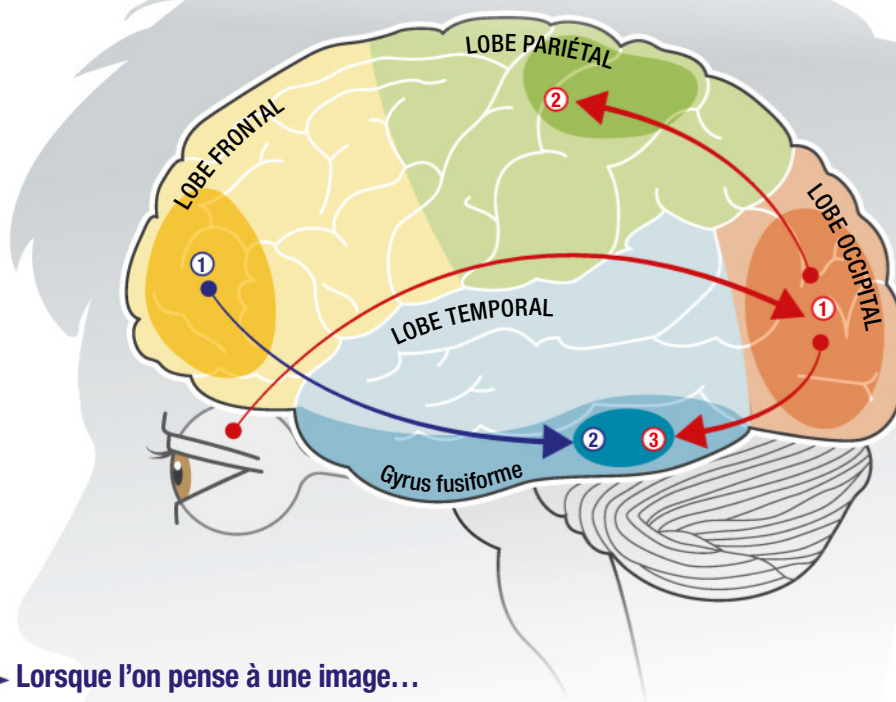
Les signaux issus de la rétine sont envoyés dans le centre visuel, où les contours, les couleurs et les mouvements sont extraits.

#### ② Localisée dans l'espace

C'est la capacité du lobe pariétal : les éléments perçus sont situés par rapport au corps et aux autres objets de la scène.

#### ③ Et rendue compréhensible

Au niveau du lobe temporal, notamment du gyrus fusiforme, les informations abstraites sont traitées. C'est là que s'effectue par exemple la reconnaissance des mots et des visages.



### ➔ Lorsque l'on pense à une image...

#### ① Elle est d'abord décidée

Des neurones du lobe frontal, centre de la réflexion et de la décision, s'activent.

#### ② Puis reconstituée

Des neurones du gyrus fusiforme s'allument à leur tour et se coordonnent avec le reste du réseau. La projection mentale apparaît.

#### Sauf en cas d'aphantasie

Chez les personnes concernées, la coordination entre les neurones du gyrus fusiforme et le reste du circuit de l'imagination visuelle ne s'opère pas. En l'absence de dialogue avec le reste du cerveau, la projection mentale ne survient pas.

et finit par proposer, en 2015, un terme pour décrire cet état : “aphantasie” – le préfixe “a” indiquant la privation, le terme peut se traduire par “non-imagination”. “*Nous nous sommes aussi rendu compte que l’aphantasie touche en général tous les sens à la fois : la vue, mais aussi l’audition, le toucher, le goût, l’odorat*”, révèle le neurologue. Comme Matthieu et Charlotte, qui n’ont jamais de chanson qui leur trotte dans la tête.

Les sondages effectués par l’équipe britannique révèlent qu’entre 1 et 3% de la population souffre de cette condition. Il s’agit plus souvent d’hommes que de femmes, plutôt de professions scientifiques qu’artistiques. Mais il y a bien entendu des exceptions, et de taille ! En 2019, l’animateur américain oscarisé Glen Keane, qui créa pour les studios Disney les personnages d’Ariel (*La Petite Sirène*, 1989), ou de la Bête (*La Belle et la Bête*, 1991), a ainsi révélé son aphantasie. Preuve qu’un manque d’imaginaire sensoriel n’empêche pas d’être créatif.

Le phénomène est bien entendu difficile à mesurer. La plupart des “diagnostics” se fondent sur des questionnaires d’autoévaluation du type : “*Si je vous demande d’imaginer une pomme, évaluez la netteté de l’évo-*

*cation sur une échelle de 0 à 5” (voir modules ci-dessous). Bien que simples, ces tests ont permis de déterminer qu’il existe dans la population un continuum phantastique, décrit Thomas Andrillon, neuroscientifique à l’Institut du cerveau, à Paris : “*Certaines personnes ont une capacité faible, voire nulle, à invoquer des images mentales, alors que les hyperphantastiques se projettent des images aussi précises et vives que s’ils les percevaient avec leurs yeux !”**

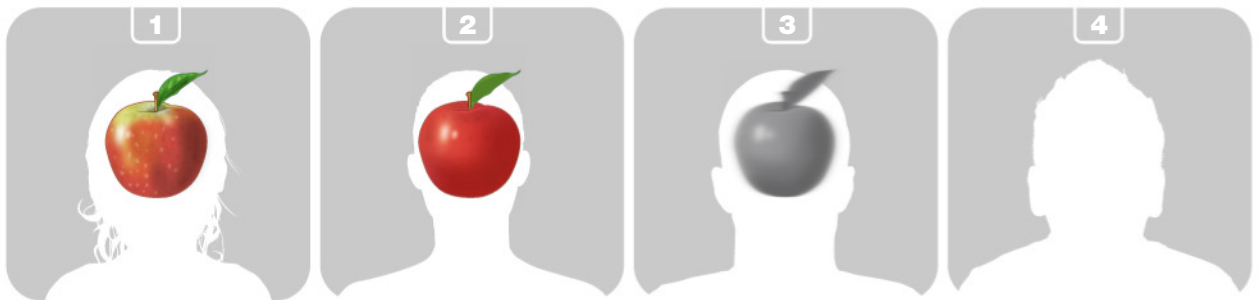
## DIAMÈTRE DE LA PUPILLE

Des protocoles plus objectifs pour détecter l’aphantasie existent : en 2022, Thomas Andrillon a par exemple montré, avec une équipe franco-australienne, que le diamètre de la pupille pouvait constituer un critère. Si, quand on regarde un objet lumineux, celui-ci rétrécit, il fait de même quand on se contente de l’imaginer... sauf chez un aphantastique ! “*Nous commençons à disposer de méthodes pour quantifier de manière objective les capacités d’imagerie mentale*”, se félicite-t-il.

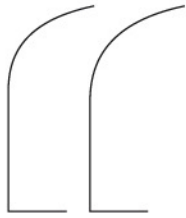
Mais à quoi sont dues ces inégalités ? Comment fait-on pour voir ce qui ne se trouve pas devant nos yeux ? Et qu’est-ce qui empêche certains d’y parvenir ? →

## Êtes-vous aphantastique ?

Tentez d’imaginer une pomme. Comment la voyez-vous ?



Si vous en percevez à la fois la forme, la couleur, mais aussi tous les détails avec la même vivacité que si elle était devant vos yeux, vous êtes probablement hyperphantastique (1). Si l’image est là, mais plus vague, moins saisissable qu’en vrai, vous disposez d’une imagerie mentale moyenne (2). Si vous visualisez un fruit, mais que l’image est instable, la couleur fade, vous avez une forme légère d’aphantasie (3). Et si rien ne vient, vous êtes probablement aphantastique (4).



*Chez les aphantasiques, certains neurones ne semblent pas se coordonner avec le reste du circuit*

Avant de répondre à ces questions, il faut comprendre ce qui se passe lors de la perception visuelle. Au fond de l'œil, les cellules sensibles de la rétine, stimulées par la lumière, génèrent des impulsions électriques. Celles-ci voyagent le long du nerf optique, jusqu'au cortex occipital, une zone du cerveau située derrière la tête, où le signal est traité par différents groupes de neurones qui en extraient des informations comme la forme ou la couleur. Puis leurs signaux sont transmis à d'autres aires spécialisées : une partie monte vers le cortex pariétal, sous le sommet du crâne, où s'effectue la mise en contexte spatial ; une autre voyage vers les zones temporales, sous les tempes. Là, des groupes de neurones sont capables de tirer des informations plus abstraites de ce qui a été vu, comme réaliser la reconnaissance des visages ou des mots. Des zones frontales, sièges de la réflexion et des décisions, peuvent ensuite être activées afin de réagir à ce qui a été vu.

Et quand on ne fait qu'imaginer une image ? *“On pense que les signaux suivent un chemin inverse, avance Adam Zeman. La décision de visualiser partirait des zones du cortex frontal, qui s'activeraient. Puis les signaux générés stimulerait les zones temporales.”* Des images cérébrales de

personnes réalisant des exercices de visualisation mentale, obtenues par IRM fonctionnelle, ont été réalisées : elles semblent bien confirmer cette hypothèse.

Reste à déterminer ce qui, chez les aphantasiques, ne chemine pas comme prévu. *“Les personnes qui ont subitement perdu leur capacité de projection d'images à la suite d'un accident présentent souvent des lésions dans le gyrus fusiforme [une circonvolu-*

tion cérébrale située dans le lobe temporal, ndlr]”, indique le neuroscientifique Paolo Bartolomeo. À l'Institut du cerveau (Paris), l'expert et son collègue Jianghao Liu ont demandé à une vingtaine de volontaires, dont la moitié aphantasiques, de répondre à des questions sollicitant leur imaginaire. Puis l'équipe a observé ce qui se passait dans leur cerveau grâce au scanner IRMf à très haute résolution du centre NeuroSpin, à l'université Paris-Saclay.

### COORDINATION CÉRÉBRALE

Ce qu'ils ont vu ? C'est que la différence entre phantasiques et aphantasiques semble tenir de la coordination de l'activité du gyrus fusiforme avec celle d'autres régions. *“Les neurones de cette zone s'activent, mais chez les aphantasiques, ils ne semblent pas se coordonner avec le reste du circuit”,* révèle Paolo Bartolomeo. Or la coordination cérébrale détermine la capacité des diverses zones du cerveau à établir un dialogue, grâce auquel émerge la conscience du moment présent. Sans elle, les aires visuelles de haut niveau ne sauraient simplement pas communiquer leurs informations, qui resteraient emmurées dans l'inconscient. Les éléments et souvenirs sollicités pour la création imaginaire visuelle seraient bien là, mais le projecteur pour les diffuser sur l'écran de la conscience manquerait. Le film reste alors noir et muet.



PAOLO **BARTOLOMEO**  
Neurologue à l'Institut  
du cerveau (Paris)



## Un passé et un futur flous

L'aphantasie n'est pas une maladie, elle n'est pas non plus considérée comme un trouble. Reste que certains de ses corollaires peuvent s'avérer handicapants : elle est notamment souvent associée à une faible mémoire épisodique, qui compile les expériences personnelles passées. Pas étonnant, si l'on considère qu'un aphantasique ne peut pas projeter ses souvenirs sous forme d'images, de sons, d'odeurs ou de goûts – l'accès à la mémoire sensorielle est de fait verrouillé. *“Je ne suis pas capable de me rappeler le visage de ma grand-mère décédée. Mes souvenirs d'enfance se sont effacés”,* regrette ainsi Matthieu. Or c'est aussi sur l'évocation visuelle que s'appuie notre capacité d'anticipation... *“On remarque que les aphantasiques ont plus de mal à se projeter dans le futur”,* note le neuroscientifique Adam Zeman.

IP PARENTE/ICM



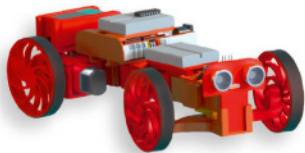
# ROBOBOX SCIENCE & VIE

**IDÉE  
CADEAU  
NOËL!**

## Apprenez les bases de la robotique à tout âge

Robobox est la méthode indispensable pour apprendre les bases de la robotique et de la programmation, en construisant, chaque mois, un robot toujours plus évolué. Vivez votre passion de la robotique en découvrant, à l'aide des différents kits, de nouvelles notions de mécanique, de programmation ou d'électronique.

**3 âges, 3 niveaux de difficulté  
& 12 box pour apprendre !**



**ROBOBOX**  
SCIENCE & VIE

Pour les adultes



**ROBOBOX**  
JUNIOR

À partir de 14 ans



**ROBOBOX**  
SCIENCE & VIE  
DÉCOUVERTES

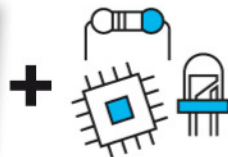
Pour les 8-13 ans



**UN KIT PAR MOIS AVEC DES EXCLUSIVITÉS ROBOBOX ET UN ACCÈS AU CLUB**



Un manuel d'apprentissage



Des composants



Une aide en ligne



**TOUTES NOS OFFRES SUR ROBOBOX.FR**



Zealandia

^ La partie légèrement en relief, au centre de cette image, montre Zealandia. On devine la Nouvelle-Zélande, qui barre le tiers sud, et la Nouvelle-Calédonie, au nord-est.





# Le continent englouti enfin cartographié

De plaines en chaînes de montagnes, toutes englouties, Zealandia se révèle à nous, après le long travail d'une équipe de géologues. Voici les points d'intérêt de ce continent perdu...

**R**egardez la carte ci-contre, elle pourrait un jour s'ajouter à tous les planisphères. Elle dévoile pour la première fois le continent perdu de Zealandia, une terre engloutie à environ 1 000 m de profondeur dans le sud-ouest de l'océan Pacifique, au large de la côte Est australienne. Une équipe internationale de géologues est enfin parvenue à le cartographier en totalité et dans les moindres détails, après dix ans de travail acharné. Et voilà que ses côtes noyées, ses plaines englouties et ses chaînes de montagne sous-marines n'ont plus aucun secret...

BRUNO BOURGEOIS, D'APRÈS GOOGLE EARTH - M. TUMELAIRE

C'est en 1995 que Zealandia est né : le géophysicien américain Bruce P. Luyendyk décide alors de nommer cette formation particulière, profondément enfouie sous les eaux, persuadé qu'il s'agit là, à l'instar de l'Océanie ou de l'Antarctique, d'un continent à part entière. Pourquoi ? Déjà, parce que la densité et l'épaisseur de son sol – d'environ 25 km – sont typiques d'une croûte continen-

tale : Zealandia tranche donc avec le plancher océanique. Il se distingue aussi géologiquement des autres continents, dont l'Océanie pourtant voisine, et il est composé d'une grande diversité de roches : des granites, du gneiss, des schistes, etc. Enfin, sa superficie est importante : Zealandia couvre environ 5 millions de kilomètres carrés – la moitié de l'Europe.

## CE QUI DÉFINIT UN CONTINENT

Bien sûr, la position fait débat : Zealandia est immergé à 95 % depuis 20 millions d'années (*voir chronologie*), seules la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Zélande et les îles Lord Howe, Norfolk et subantarctiques s'offrent aujourd'hui à notre foulée. Or les définitions d'un continent font souvent référence à la "surface" et aux "terres délimitées par des océans"...

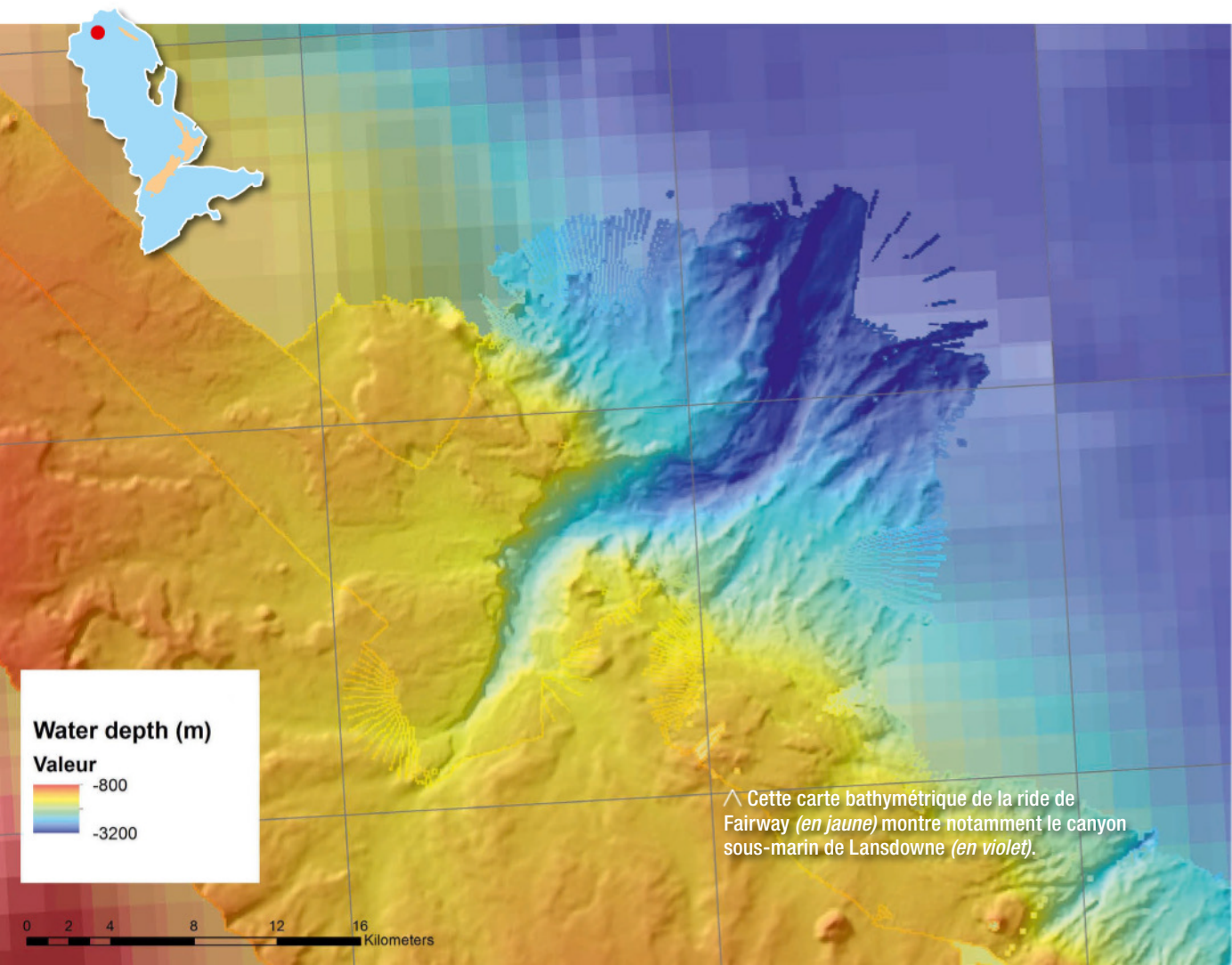
Alors quoi ? *"Le problème, c'est qu'il n'existe pas d'organisation pour approuver un continent, comme pour une montagne, un pays ou une planète*, explique Nick Mortimer, géologue à l'institut de recherche néo-zélandais GNS Science et premier auteur de la nouvelle étude. *Mais pour moi, Zealandia en est bien un : c'est même le plus petit, le plus submergé et le plus fin de tous. Nous espérons qu'il fera son chemin jusqu'aux cartes du monde.*" C'est chose faite dans ces pages. Préparez-vous à visiter le continent englouti. →

## v Sur le plateau sablonneux de la pointe septentrionale

Nous nous trouvons actuellement tout au nord de Zealandia, sous la mer de Corail qui abrite la célèbre Grande Barrière, le plus grand des récifs coralliens. Sauf qu'à environ 1 000 m de profondeur, le pied sur le continent enfoui, c'est une autre splendeur qui s'offre aux yeux : une grande crête montagneuse sous-marine s'étend sur près de 400 km, la ride de Fairway. Cette dorsale océanique sépare deux zones creuses : le bassin de Fairway, à l'ouest, et le bassin de Nouvelle-Calédonie, à l'est. Lors de sa découverte par le Français Alain Mignot, dans les années 1970-80, très peu de ses roches furent prélevées, on ne savait donc pas grand-chose sur sa nature. Ce n'est qu'après la campagne de dragage du navire océanographique australien *Investigator*, en 2016, puis celle du navire français *Alis*, en 2018, que des échantillons ont pu être analysés. Résultats : cette dorsale océanique contient des grès pavés, des galets de

granite à gros grains et quelques galets volcaniques, tous datant du Crétacé, entre -130 et -95 millions d'années, ainsi que quelques basaltes de formation plus récente, d'environ 40 millions d'années.

À mesure que nous parcourons la ride de Fairway vers le nord, nous ne faisons que grimper. Jusqu'à se tenir à seulement 150 m de la surface à son extrémité septentrionale ! À cet endroit, s'étend le banc de Lansdowne, une plaine de sable de 4 300 km<sup>2</sup> – la moitié de la Corse –, exploré en 2018 par l'équipe du chercheur français Samuel Étienne, de l'université de Bordeaux. D'après leurs résultats, ce banc de sable reposerait sur un mont, et ce dernier serait directement issu de la collision de deux plaques tectoniques, qui a aussi donné naissance à la Nouvelle-Calédonie. C'est pourquoi, juste à l'est de notre position, le plancher océanique tombe à pic, 2 000 m plus bas. Ne vous penchez pas trop...





^ L'île australienne Lord Howe, l'une des terres émergées de Zealandia.

## ^ Au sommet du jeune volcan bouclier de Lord Howe

Sur le flanc Nord-Ouest de Zealandia, repose l'île Lord Howe. Enregistré au patrimoine mondial de l'Unesco depuis 1982, ce petit croissant de terre émergé d'environ 15 km<sup>2</sup>, qui accueille un peu plus de 300 âmes, est tout ce qu'il reste d'un ancien volcan bouclier – un type de volcan au cône relativement plat, rappelant un bouclier posé à même le sol. Au sud de l'île se dessinent les silhouettes des monts Lidgbird et Gower (le point culminant, à 875 m), formés il y a environ 7 millions d'années par des coulées de lave qui, en se refroidissant, ont donné des roches basaltiques et conféré au paysage cette teinte sombre si caractéristique.

Toutefois, Lord Howe n'est que "la partie émergée de l'iceberg" : en s'enfonçant dans Zealandia, au large de l'île, c'est une gigantesque chaîne de montagnes sous-marine enfouie sous 1 500 m d'eau qui apparaît.

Elle s'étend du sud vers le nord sur près de 1 000 km, jusqu'aux atolls Chesterfield, au nord-ouest de la ride de Fairway, et s'est formée avec le déplacement vers le nord de la plaque sur laquelle se trouve Zealandia. En effet, en passant au-dessus d'un point chaud – un panache de matière issue du manteau profond –, la plaque continentale sème des volcans! "Certains de ces cratères sont anciens, âgés de 30 millions d'années, mais d'autres n'ont que 5 millions d'années, comme l'île Lord Howe", précise Nick Mortimer. La chaîne était donc volcanique... Ce qui joue un rôle prépondérant dans l'écologie de la région : ses guyots – des monts sous-marins au sommet aplati, culminant à 1 000 m sous les flots – accueillent de nombreux coraux, essentiels au maintien des écosystèmes marins. Ils servent notamment de garde-manger aux baleines à bosse. →

## De la Pangée au continent englouti

### - 200 millions d'années

Le supercontinent Pangée se disloque en Laurasia (Europe et Amérique du Nord) et Gondwana (Amérique du Sud, Afrique, Inde, Australie, Antarctique, Zealandia...).

### - 160 millions d'années

Le Gondwana se morcelle à son tour : le bloc Afrique-Amérique du Sud se détache, puis l'Inde. Le bloc Australie-Antarctique-Zealandia commence à se briser.

### - 85 millions d'années

Sous l'effet de la tectonique des plaques, Zealandia s'étire et s'amincit : une vaste région volcanique y apparaît.

### - 60 millions d'années

Zealandia rompt avec l'Australie et l'Antarctique. Ce bloc de croûte continentale dérive et s'affaisse : le continent s'enfonce sous l'océan.

### - 20 millions d'années

La quasi-totalité de Zealandia est sous l'eau. Mais la tectonique des plaques fait émerger certaines terres, comme la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande.

## Le long de la colonne brisée de Zealandia

Le continent englouti est traversé par une ceinture de près de 4 000 km, composée de roches magmatiques, notamment de granite.

Étonnamment, une première partie s'étend du nord au sud, de la ride de

Fairway au nord de la Nouvelle-Zélande, et une seconde s'étale d'est en ouest, au sud de la

terre des Maoris. Il s'agit pourtant d'une seule et même formation géologique... que les déplacements de la plaque Pacifique et de la plaque australienne, dont la frontière se situe pile sous la Nouvelle-Zélande, ont simplement cassée en deux. *"Cet arc magmatique, colonne vertébrale de Zealandia, s'est formée entre -250 et -100 millions d'années"*, indique Nick Mortimer. À cette époque, le continent englouti faisait partie intégrante du Gondwana, ce supercontinent austral qui s'est par la suite divisé pour donner l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Inde, l'Australie, l'Antarctique et... Zealandia. La région fut témoin d'une subduction extrêmement intense pendant près de 150 millions d'années: la plaque océanique de la Panthalassa – la grande mer de cette période géologique –, s'est petit à petit enfoncée sous la plaque continentale du Gondwana. Ces terribles interactions ont finalement conduit à la formation de volcans, qui ont relâché d'incroyables quantités de magma à la surface de la Terre: l'arc magmatique de Zealandia était né.

B. BOURGEOIS - SHUTTERSTOCK/PHATTANA STOCK - XAVIER FORES, JOANA RONGERO/ALAMY/HEMIS

## Sur le sommet émergé de tout le continent

Nous voici à présent sur les hauteurs de la Nouvelle-Zélande, dans le centre-ouest de l'île du Sud. Ici culmine l'Aoraki/mont Cook, à 3 724 m – ou près de 4 700 m si l'on se tient sur le plancher de Zealandia. C'est le point le plus élevé de tout le continent. Il tire son nom à la fois d'un hommage au navigateur anglais James Cook (1728-1779) et, depuis 1998, du nom maori Aoraki, "le perceur de nuages". Selon la légende, le jeune Aoraki et ses trois frères s'échouèrent en canoë après avoir heurté un récif. Regrimant sur leur embarcation retournée, les malheureux ne purent échapper au vent du sud, qui les gela et les changea en pierre. Ainsi naquirent les Alpes néo-zélandaises. Du point de vue géologique, cette chaîne montagneuse s'est formée en même temps que la Nouvelle-Zélande, il y a près de 20 millions d'années, sous la rencontre des plaques australienne et Pacifique. Encore aujourd'hui, le massif continue de s'élever d'environ 7 mm par an par l'effet de la tectonique. Sur chaque versant, la montagne est pourvue d'un glacier: Hooker, qui s'étale sur 11 km, à l'ouest, et Tasman sur 27 km, à l'est. Ce sommet est aussi célèbre dans la culture populaire: il joue le rôle du mont Caradhras, qui abrite la mine de la Moria dans l'adaptation du 1<sup>er</sup> tome du *Seigneur des Anneaux: La Communauté de l'Anneau* (2001), par Peter Jackson. N'y creusons pas trop profond.

▼ L'Aoraki/mont Cook (3 724 m), sommet le plus élevé de Zealandia.





^ Dans la baie de Curio, des arbres fossilisés se révèlent parmi les rochers.

## ^ À l'orée d'une forêt pétrifiée du Jurassique

Sur la pointe australe de la Nouvelle-Zélande, se tient la baie de Curio, une échancrure sur la mer d'une vingtaine de kilomètres environ. Lorsque la marée baisse, quelques rochers émergent... et un décor aussi rare qu'impressionnant se révèle. Parmi les rocs se cachent en effet d'anciens troncs et souches d'arbres fossilisés. C'est qu'il y a près de 180 millions d'années, en plein cœur du Jurassique, une forêt zélandienne s'étendait là. Des conifères d'environ 15 m de hauteur, de la famille des *Podocarpaceae* et des *Araucariaceae* y côtoyaient, dans un climat quasi polaire, des plantes arborescentes apparentées aux cycas, semblables à des palmiers nains.

Le sous-bois était recouvert de fougères, depuis devenues l'un des symboles de la Nouvelle-Zélande. Cachés sous ces feuillages, se trouvaient des sphénodontes, proches parents des squamates (lézards/serpents). Non loin, dans l'océan, d'anciens céphalopodes, comme des bélemnites avec leur coquille en "balle de fusil" ou des ammonites larges de 2 m, flottaient paisiblement.

Comment ce bois si verdoyant s'est-il changé en cimetière de plantes piégées entre les rochers ? Selon les scientifiques qui ont étudié le terrain, de fortes pluies ont provoqué des coulées successives de boue volcanique –ou lahars–, et la forêt a peu à peu été ensevelie. Au fil des millions d'années passées sous terre, le bois a fini par s'imprégner des minéraux silicatés environnants, au point de se changer en pierre. Puis, il y a environ 60 millions d'années, ce funeste décor a commencé à s'enfoncer petit à petit sous les eaux avec le reste de Zealandia, ne remontant à la surface que ponctuellement, au gré des marées.

Aujourd'hui, l'océan qui borde cette côte semble rude et dépourvu de vie, mais il n'en est rien : pendant l'été, il suffit d'observer les vagues pour deviner l'aïleron arrondi typique des dauphins d'Hector, qui jouent dans le ressac. Sur le rivage, des couples de manchots des antipodes font leur nid. Malheureusement, ces deux espèces sont pratiquement aussi rares que la forêt pétrifiée elle-même. Veillons à ne pas les déranger.

NOTRE SÉRIE

## Les défis scientifiques les plus fous

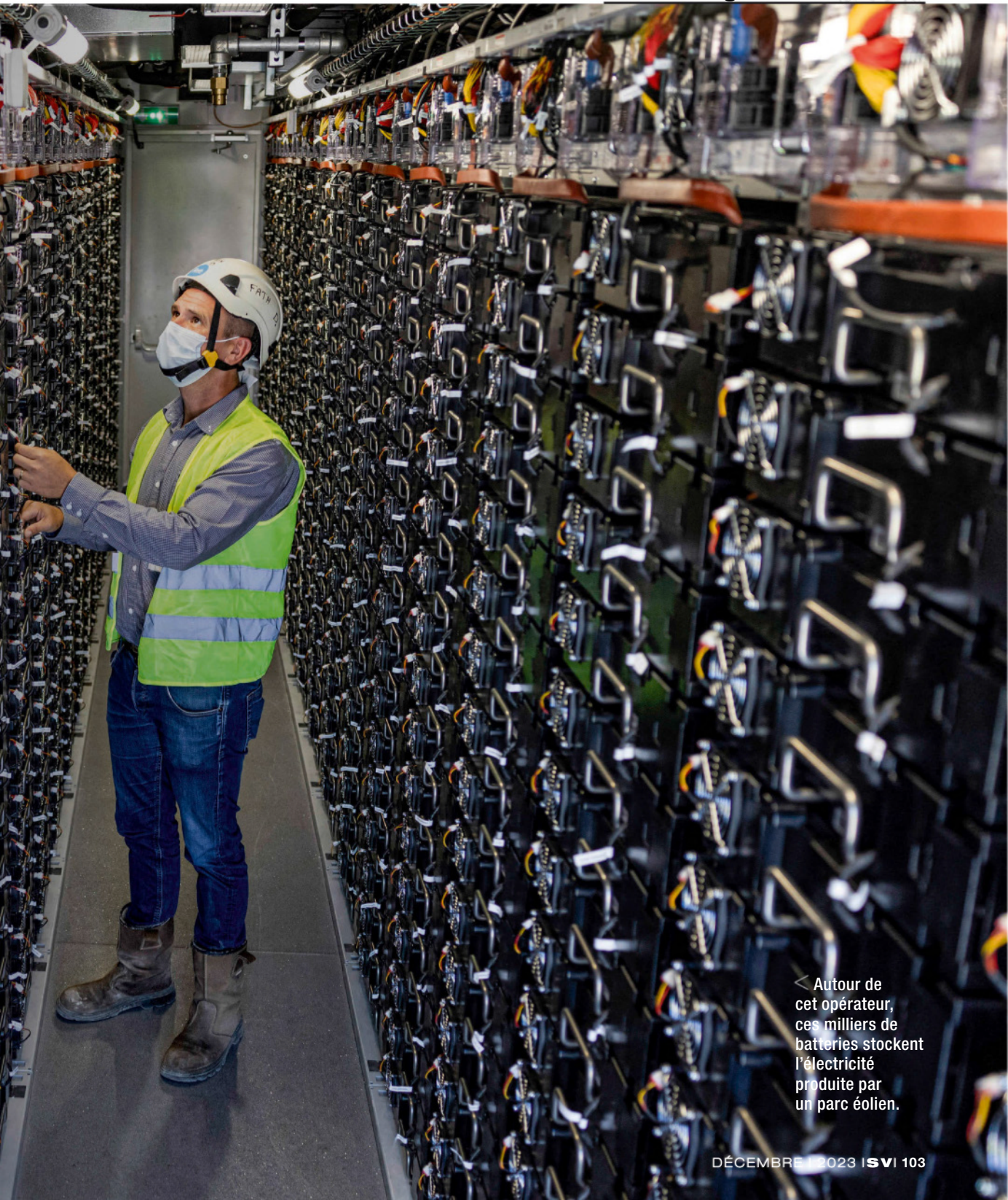
Forer à des kilomètres sous terre, rallier les pôles, poser un pied sur la Lune... L'histoire de l'humanité est jalonnée de tels défis prodigieux. *Science & Vie* poursuit sa série sur les plus incroyables missions scientifiques à venir. Ce mois-ci, le défi consiste à inventer de nouveaux moyens de sauvegarder l'énergie.

# MISSION

## Stocker l'électricité issue du renouvelable

ARNAUD FINISTRE/ANS LUCAS  
VIA AFP - M. TUMELAIRE

Pour transformer son modèle énergétique d'ici à 2050, la France devra faire la part belle au renouvelable. Problème : ce secteur ne produit que par intermittence. Comment mettre son énergie de côté pour l'utiliser ultérieurement, selon les besoins de la population ?



< Autour de cet opérateur, ces milliers de batteries stockent l'électricité produite par un parc éolien.

La France pourrait-elle connaître en 2038 un nouveau black-out, soixante ans après celui de 1978 ? La question n'est pas absurde. Les réseaux électriques sont confrontés à un défi inédit : intégrer massivement les énergies renouvelables (EnR), telles que le solaire et l'éolien, dont la production est intermittente. Pour atteindre les objectifs européens de neutralité carbone, l'Hexagone devra en effet générer entre 270 TWh et 320 TWh d'énergie renouvelable par an en 2035, contre 120 aujourd'hui. Ce qui implique de multiplier par quatre l'éolien et le photovoltaïque.

Pour les gestionnaires du réseau électrique, qui doivent à tout moment assurer l'adéquation entre la production et le besoin de la population, c'est un vrai casse-tête. D'autant qu'il faudra fermer – dans la même visée de décarbonation – de nombreuses centrales à gaz naturel ou au charbon, actionnables sur commande, et 14 centrales nucléaires – dont

la production est également pilotable –, pour ramener la part du nucléaire à 50 % du mix électrique en 2035, selon l'engagement de la France. Cette échéance s'annonce critique : *“À compter de 2035, il ne sera plus possible de poursuivre l'augmentation de la part des EnR sans développer la flexibilité de manière très significative”*, prévoit un rapport de l'Agence internationale de l'énergie et de Réseau de transport d'électricité (RTE) daté de 2021.

Flexibilité : le mot est crucial. Il désigne les différents moyens d'ajuster l'offre et la demande pour les faire coïncider. Par exemple à travers le démarrage des chauffe-eau électriques la nuit, quand l'électricité est excédentaire, ou bien les interconnexions avec les pays étrangers, qui permettent d'importer l'électricité au besoin et d'exporter le surplus. Puis vient le stockage de l'énergie. Aujourd'hui, en France, plusieurs stations de pompage et de barrages hydrauliques

P. DESMAZES/AFP - STOLECT

## Des “fermes” à batteries... pour équilibrer le réseau

Des prix en chute libre avec l'essor du véhicule électrique, des performances en hausse... Les batteries lithium-ion offrent une solution pertinente pour le stockage stationnaire, *“contrairement à ce que l'on aurait pu penser il y a quelques années”*, souligne Xavier Romon de l'ATEE. Initialement utilisés pour “lisser” le courant fourni par les EnR, ces équipements permettent aujourd'hui d'équilibrer le réseau sur des échelles de temps plus longues, de quelques minutes à quelques heures. Même le réseau haute tension, véritable colonne vertébrale de la distribution électrique, s'y met ! À travers le projet Ringo, RTE a ainsi démontré la possibilité d'équilibrer à tout moment les productions de trois centrales photovoltaïques et éoliennes situées dans différentes régions, grâce à 3 packs de batteries de 10 MW chacun (soit la production de 10 ha de panneaux photovoltaïques). L'innovation réside dans un système d'arbitrage automatique permettant de charger ou décharger les batteries en fonction des excédents ou des vides de production. Reste que la fabrication des batteries au lithium est énergivore et repose sur des métaux rares ou polluants à extraire. À moyen terme, des batteries sodium-ion, moins performantes mais moins impactantes pour l'environnement, pourraient s'imposer.

RENDEMENT  
90 %





permettent ainsi de pomper l'eau en hauteur lorsque l'électricité est excédentaire, pour la turbiner au moment voulu.

### LIMITES DES TECHNIQUES ACTUELLES

Mais ces "flexibilités" atteindront bientôt leurs limites. "Il y a encore le potentiel pour construire quelques stations de pompage, mais le public n'accepte plus ces projets jugés trop impactants pour les milieux naturels", pointe Yannick Peysson, chef de programme R&D à l'Ifpen. De nouvelles solutions sont donc sur la table. Elles passent d'abord par

un pilotage de la recharge des voitures électriques durant les heures creuses. "Mais son potentiel est difficile à prévoir car il dépend de l'adhésion des propriétaires et du développement d'incitations financières", poursuit l'expert. La construction de nouvelles interconnexions avec les pays voisins paraît aussi inévitable, "avec, là encore, une part d'incertitude, étant donné que tous vont fortement augmenter leur part d'EnR intermittentes".

Reste donc à développer de nouveaux moyens de stockage. Des armées de batteries lithium-ion, semblables à celles →

## Produire et stocker de la chaleur... pour actionner des turbines

Les surplus d'électricité sur le réseau peuvent être mis à profit pour chauffer un fluide, à l'image de nos chauffe-eau qui tournent en heures creuses. Mais ce principe pourrait être étendu. "Des pompes à chaleur à haute température peuvent produire de l'eau à 80°C pour alimenter des réseaux de chauffage urbains en lieu et place des centrales à gaz ou à biomasse", explique Philippe Azais, chef du programme Efficacité énergétique et réseaux au CEA. Le fluide chauffé peut aussi être stocké à plus ou moins long terme dans un réservoir, et sa chaleur à nouveau convertie, en cas de besoin, vers de l'électricité... moyennant, bien entendu, des pertes énergétiques supplémentaires. À Rennes, la start-up Stolect expérimente ainsi une "batterie de Carnot" produisant de l'air chaud, qui peut être stockée dans un matériau réfractaire puis déstockée pour entraîner une turbine électrique. À Belfort, Storabelle envisage d'utiliser l'électricité pour chauffer des sels fondus dans d'anciennes centrales au charbon, lesquels peuvent ensuite générer de la vapeur et reproduire de l'électricité sur commande. Autant de techniques émergentes dont l'empreinte carbone et l'utilisation de métaux critiques pourraient se révéler moindres qu'avec des batteries.

RENDEMENT  
60-70 %



des véhicules électriques, pourraient en partie jouer ce rôle – de quoi soulager le réseau électrique sur de courtes périodes, allant de quelques heures à quelques jours. Des scénarios de RTE prévoient ainsi jusqu'à 26 GW de batteries dédiées à l'horizon 2050.

#### ÉVITER UN SCÉNARIO CATASTROPHE

On en est loin : en 2023, seules 0,4 GW de batteries sont installées. Certes, "3,7 GW de projets sont dans les tuyaux, mais le raccordement peut prendre des années", ajoute Xavier Romon, de l'Association technique énergie environnement (ATEE). Et pour stocker l'électricité à plus long terme, d'autres procédés pourraient être complémentaires : sous forme de chaleur, d'hydrogène ou d'air

comprimé (voir encadrés). Encore cantonnés à des projets de démonstration, ils se heurtent à des limitations techniques et économiques : "L'enjeu est de rentabiliser une installation de stockage massif qui ne se charge ou décharge que quelques fois par an", souligne Philippe Azais, du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

Reste que de telles infrastructures se révéleraient essentielles pour pallier un scénario catastrophe, telle une pénurie de vent en plein hiver s'étalant sur plus de deux semaines. Il y a donc urgence à les industrialiser. "Les infrastructures énergétiques sont toujours très longues à tester et déployer", rappelle Yannick Peysson. À leur échelle, 2035, c'est demain.

DLR - HU PING/XINHUA/AFP - ENERGY VAULT

## Convertir le surplus en hydrogène... pour l'industrie et le transport lourd

Prenez un surplus d'électricité renouvelable et servez-vous en pour "casser" des molécules d'eau : cette réaction, appelée électrolyse, permet de générer de l'hydrogène. Ce gaz relativement dense en énergie peut être stocké puis reconverti plus tard en électricité, via une pile à combustible. Actuellement, ce système est l'un des seuls capables d'offrir un stockage d'énergie massif et à long terme. Si bien que nombre de scénarios énergétiques à l'horizon 2050 misent sur une grande part de centrales fonctionnant à l'hydrogène au lieu du gaz naturel. Problème : le rendement global de l'opération est catastrophique, car 30 % de l'énergie initiale est dissipée pendant l'électrolyse, puis à nouveau 30 % dans la pile à combustible. Quant au stockage d'hydrogène à grande échelle, il pose d'autres difficultés. Étant donné les volumes en jeu, il faudrait le stocker dans des cavités salines naturelles... qui sont relativement rares en France. "En creuser de nouvelles amoindrirait le bilan environnemental du stockage ; quant aux réservoirs en fibres de carbone, conçus pour la mobilité, leur fabrication est également très énergivore", estime Philippe Azais. À court terme, il semble donc plus efficace de n'utiliser l'hydrogène que pour décarboner l'industrie ou propulser des camions...

RENDEMENT  
20-30 %






RENDEMENT  
60-70 %

## Comprimer de l'air... puis le relâcher pour produire de l'électricité

L'électricité excédentaire peut être utilisée pour pomper de l'air ambiant et le comprimer à très haute pression (100 à 300 bars). Une fois relâché, le gaz peut entraîner une turbine, et donc produire de l'électricité. Sur le papier, l'idée paraît simple et sobre: *"Pour 10 MW de stockage, l'énergie grise, qui correspond à l'énergie dépensée pour la construction du système, peut être cinq fois inférieure à celle d'un système batteries"*, fait valoir Yannick Peysson, de l'IFP Énergies nouvelles (Ifpen). Reste un hic: aménager des cavités suffisamment stables pour tenir à la fois les hautes pressions et les hautes températures – car l'air comprimé chauffe beaucoup – nécessite d'importants investissements. *"Le réseau électrique européen étant encore assez équilibré, il n'y a pas d'incitations réelles à développer ce type de stockage massif et centralisé"*, déplore le chercheur. Pour le moment.



RENDEMENT  
70-80 %

## Hisser des blocs de béton... pour récolter l'énergie de leur chute

Les barrages hydroélectriques déplacent de l'eau pour stocker l'énergie. Alors pourquoi ne pas déplacer d'autres matériaux? La start-up suisse Energy Vault vient ainsi d'inaugurer la première station de stockage "gravitaire" solide en Chine. Ses tours, équipées de moteurs électriques, peuvent hisser des centaines de blocs de 24 tonnes, fabriqués à partir de terre locale et de déchets, à 120 m de hauteur. Elles les font ensuite chuter pour générer jusqu'à 25 MW d'électricité! L'installation est imposante, l'idée séduisante... mais le bilan écologique interroge: *"L'énergie nécessaire à fabriquer les blocs est disproportionnée au regard de la quantité d'énergie stockée"*, pointe Yannick Peysson, de l'Ifpen. En outre, la maintenance du système semble délicate, étant donné le nombre et la masse des pièces en mouvement. Energy Vault garantit néanmoins cette installation pendant 35 ans.





# Lignée humaine

## Et si tout avait commencé en Europe ?

Coup de théâtre dans la communauté scientifique : le crâne d'un possible ancêtre de l'humain, du gorille et du chimpanzé a été retrouvé en Turquie. De quoi remettre en cause l'histoire de nos origines.

C'est un crâne partiel remarquablement conservé de 8,7 millions d'années (voir photo ci-contre). Découvert en 2015 par une équipe de l'université d'Ankara, en Turquie, sur le site de Çorakyerler situé au cœur de l'Anatolie, il pourrait vous sembler un peu familier... À raison : vu la forme de sa boîte crânienne, de son front et de sa mandibule, ce fossile appartenait à un primate – il est de notre ordre, donc. Selon l'étude récemment publiée à son sujet, ce cousin éloigné, baptisé *Anadoluvius turkae*, possédait même un cerveau relativement volumineux et était grand et massif, d'une morphologie semblable à celle d'un chimpanzé de 50 à 60 kg aujourd'hui.

Ses robustes mâchoires et l'épaisseur de ses dents laissent penser qu'il se nourrissait d'aliments durs trouvés au sol, tels que des racines. Mais il y a plus : "L'email de ses incisives et de ses prémolaires, mais aussi ses

*petites canines usées, s'apparentent davantage à la dentition des premiers humains africains qu'à celle des grands singes plus anciens*", s'enthousiasme l'anthropologue David Begun, de l'université de Toronto, au

Canada, qui a supervisé son analyse. Conclusion ? *Anadoluvius* était sûrement proche dans notre lignée évolutive. Plus précisément, il serait un ancêtre des *Homininae* actuels, cette sous-famille de primates qui rassemble les gorilles, les chimpanzés, les bonobos

### Repères

Chez les primates, la sous-famille *Homininae* réunit *Gorillini* (gorilles) et *Hominini*. Ces derniers rassemblent les lignées *Panina* (chimpanzés, bonobos) et *Hominina*, qui regroupe toutes les espèces humaines (les disparues et l'actuelle).

et les humains. Et notre histoire pourrait s'en retrouver complètement chamboulée.

Jusqu'ici, en effet, cette dernière se racontait ainsi : il y a entre 7 et 10 millions →

◀ En blanc, les restes du crâne fossilisé d'*Anadoluvius*, un possible ancêtre de l'humain, du chimpanzé et du gorille.

AVILA SEVIM-EROL

d'années –période clé dans l'évolution de l'humanité–, deux événements majeurs se sont produits coup sur coup chez les *Homininae*. D'abord, le groupe s'est séparé en deux : les ancêtres des gorilles d'un côté, et ceux des chimpanzés, des bonobos et des humains de l'autre. Puis ces derniers se sont à nouveau divisés pour former les lignées *Pan* (bonobos et chimpanzés) et humaines. Une chose est quasi certaine : cette dernière séparation s'est faite en Afrique. Tous les premiers humains ont en effet été découverts sur le Grand Continent –*Orrorin tugenensis* (5,9 Ma) au Kenya, et *Sahelanthropus tchadensis*, alias Toumaï (7 Ma), au Tchad (voir carte en page de droite).

### PLUSIEURS FOSSILES EUROPÉENS

Oui, mais et avant? Où est né le dernier ancêtre commun des gorilles, des chimpanzés et des humains? Pour la plupart des paléontologues, l'Afrique s'impose là encore comme une évidence. Le problème, c'est *Anadoluvius turkae*. Il n'a pas d'équivalent dans le Grand Continent. "Avant 7 millions d'années, on ne trouve pas en Afrique de fossiles clairement identifiables de Homininae, renchérit David Begun. Et si ce dernier

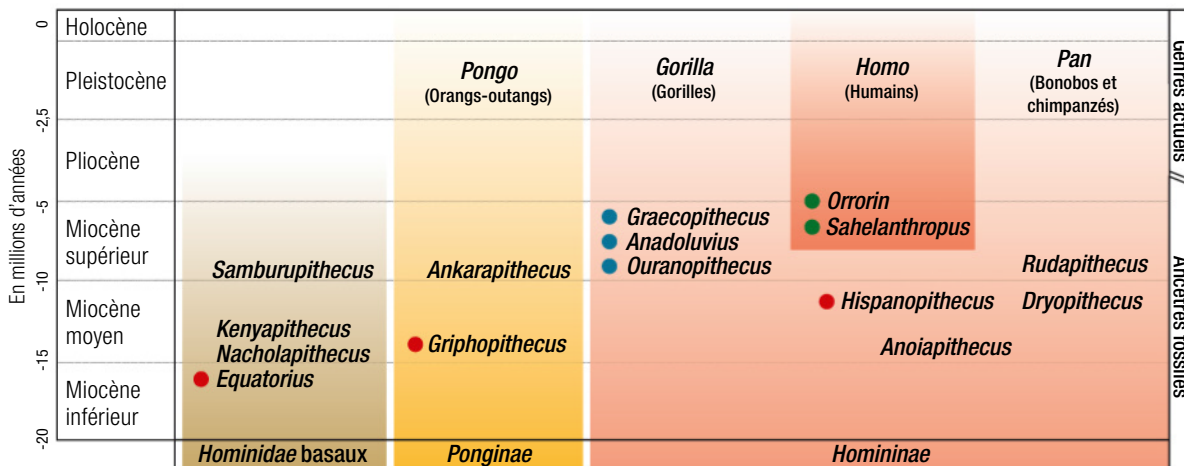
ancêtre commun n'était tout simplement pas africain?" Et s'il avait été... européen?

L'hypothèse n'est pas nouvelle et a longtemps été critiquée. Reste qu'elle commence à disposer de nombreux arguments. Car *Anadoluvius* n'est pas le seul possible grand singe ancestral à avoir foulé des terres au nord de la Méditerranée! Avant lui, il y a entre 7,4 et 9,6 millions d'années, le genre *Ouranopithecus* –dont plusieurs spécimens ont été retrouvés– se frayait ainsi un chemin en Grèce septentrionale et en Turquie. Ce primate, de taille relativement grande, possédait une face massive, dotée d'une dentition étonnante. "La couche d'émail de ses molaires était plus épaisse que celle des autres singes, précise David Begun. Ce qui le rapproche d'*Anadoluvius*, même si tous deux affichent quelques différences au niveau du front et de la face."

Un autre fossile européen intrigue : une simple dent grise et une mandibule attribuée à *Graecopithecus freybergi*, un grand singe qui vivait en Grèce et dans les Balkans il y a environ 7,2 millions d'années. Tout comme *Ouranopithecus* et *Anadoluvius*, *Graecopithecus* était un singe massif avec une mâchoire puissante, destinée →

## L'évolution foisonnante des grands singes...

Dans la famille des *Hominidae*, les plus anciens fossiles ont tous été retrouvés en Afrique. Les fossiles attribués à des sous-familles issues des *Hominidae* (*Ponginae* et *Homininae*) ont, quant à eux, été retrouvés à la fois en Afrique et en Europe. Les points de couleur ici renvoient à la carte en page de droite.



## ... a fait un crochet par l'Europe !

Les fossiles découverts dessinent un nouveau scénario, qui inclut l'Europe dans les lieux où l'évolution des ancêtres de la lignée humaine s'est jouée.

- Fossile de grand singe daté de :
- 17 à 13 Ma
- 10 à 7 Ma
- 8 à 3 Ma

### 2. Vers -10 millions d'années

De grands primates massifs apparaissent dans les Balkans et en Anatolie : *Ouranopithecus*, *Anadoluvius* et *Graecopithecus* en sont des représentants. D'après leurs caractéristiques morphologiques, ils seraient des ancêtres des *Homininae* actuels.

*Hispanopithecus*

*Ouranopithecus*

*Graecopithecus*

*Graecopithecus*

*Anadoluvius*

*Griphopithecus*

### 3. Vers -8 millions d'années

Le climat européen se dégrade. La faune – girafes, gazelles, antilopes – migre alors vers l'Afrique. Les ancêtres des *Homininae* suivent le mouvement.

*Sahelanthropus*  
(Toumai)

### 4. Entre -8 millions d'années et -7 millions d'années

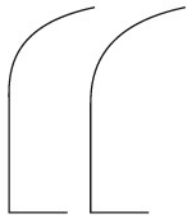
Sur le continent africain, les différentes lignées d'*Homininae* se séparent : les *Gorillini* d'abord, puis les *Panina* et les *Hominina*. C'est la naissance de la lignée humaine, dont le premier représentant jusqu'ici découvert est Toumai, au Tchad, âgé de 7 millions d'années.

### 1. Il y a environ 17 millions d'années...

De grands singes ancestraux quittent l'Afrique. Ils se dispersent alors au Moyen-Orient en Europe, où ils se diversifient pendant des millions d'années.

*Equatorius*

*Orrorin*



*L'Europe n'aurait été qu'une étape évolutive pour des grands singes venus d'Afrique*

à manger de la nourriture dure, comme des écorces d'arbre, des racines et des châtaignes. *“Étonnamment, les racines des deux prémolaires de Graecopithecus sont fusionnées d'une manière inhabituelle,* décrit Madelaine Böhme, paléontologue de l'université de Tübingen, en Allemagne. *Une particularité extrêmement rare chez les chimpanzés, mais que l'on retrouve chez les préhumains et les humains.”*

Enfin, au début des années 2000, d'étranges empreintes de pas ont été retrouvées en Crête et datées de quelque 5,7 millions d'années. Or, selon leur analyse, le pied qui les a déposées devait posséder certains des caractères propres aux *Homininae*. *Ouranopithecus*, *Anadoluvius*, *Graecopithecus*... Pour David Begun, il n'y a plus de doute: ces primates européens seraient proches de l'ancêtre partagé par les hommes, les gorilles et les chimpanzés.

#### ÉCOSYSTÈME FAVORABLE

Une toute nouvelle version de l'histoire des grands singes serait donc à raconter. Selon celle-ci, il y a environ 17 millions d'années, l'Europe voit arriver des primates venus d'Afrique. Ces lointains ancêtres se dispersent peu à peu dans les Balkans et en Europe occidentale, y évoluent et s'y diversifient massivement, probablement entraînés par des conditions environnementales particulièrement favorables.

Il faut dire qu'à l'époque, le sud-est de l'Europe avait tout de la savane africaine, au climat chaud et humide. Aux côtés des restes de *Graecopithecus*, Madelaine Böhme a même décelé des traces de cet écosystème, en quantité suffisante pour pouvoir en proposer une vision. *“Il y vivait toute une faune bien connue en Afrique: des ancêtres de girafes, de gazelles, d'antilopes et de rhinocéros”* pointe-t-elle. C'est dans ce décor qu'apparaissent *Ouranopithecus*, *Graecopithecus* et *Anadoluvius*.

Puis, il y a environ 8 millions d'années, tout change. Les conditions climatiques et environnementales se dégradent: les températures deviennent moins clémentes, la

## Date de divergence : un calcul mêlant génétique et fossile

Pour évaluer le moment précis où une espèce s'est séparée d'une autre, les chercheurs misent avant tout sur une méthode particulière: l'horloge moléculaire. À chaque génération, le génome d'un organisme est en effet soumis à des mutations et des recombinaisons aléatoires. En déterminant le risque moyen d'apparition de ces événements, et en dénombrant les différences génétiques entre deux espèces actuelles proches – comme chimpanzé et humain –, on peut estimer la date de leur divergence. En se basant sur ce calcul, l'apparition des lignées humaines et *Panina* se serait produite il y a entre 6,5 et 9,3 millions d'années, et la diversification des *Homininae* il y a environ 10 millions d'années. Ce qui concorde grosso modo avec l'âge des fossiles retrouvés.

forêt recule. Face à la diminution des ressources, une partie de la faune migre vers l'équateur... puis vers le continent africain. Les ancêtres des *Homininae* auraient simplement suivi le même chemin.

Un crochet par l'Europe: le voilà, donc, le nouveau scénario de nos origines! Richard Potts, paléanthropologue à la Smithsonian Institution de Washington, aux États-Unis, le trouve élégant: *“Finalement, l'Europe n'aurait été qu'une étape évolutive pour des grands singes venus d'Afrique, ensuite revenus en Afrique pour donner naissance aux lignées chimpanzé et humaine, et poursuivre leur expansion sur le continent.”* Avant que, quelques millions d'années plus tard, différentes espèces de notre genre *Homo* n'en ressortent à leur tour pour se répandre vers d'autres continents. Une histoire faite de recommencements.



**RICHARD POTTS**  
Paléanthropologue  
à la Smithsonian  
Institution (États-Unis)



J.LARK/SMITHSONIAN'S HUMAN ORIGIN PROGRAM



# C'est dans nos vies

## Sommaire

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

## En pratique



Pour moins vous fatiguer, nagez juste derrière quelqu'un

C'est la conclusion d'une équipe de chercheurs français qui, à l'aide de deux mannequins équipés de capteurs, a reproduit les conditions de deux nageurs sur une même ligne d'eau. Si l'un se place juste derrière l'autre, les frottements de l'eau qu'il subit sont réduits d'environ 40%. Et s'il se place à côté, au niveau des hanches, ils baissent de 30% –peut-être parce qu'il "surfe" la vague générée par le nageur en tête. *"Phys. Rev. Flu."*, sept. 2023

SHUTTERSTOCK

# Votre partenaire vous ressemble ? C'est que vous l'avez choisi ainsi !

En matière de relations amoureuses, deux maximes s'affrontent : *"qui se ressemble s'assemble"*, et *"les opposés s'attirent"*. Laquelle est correcte ? La première, selon de récents travaux menés par Tanya Horwitz, de l'université du Colorado ! Pour le démontrer, les chercheurs ont à la fois réalisé une méta-analyse de 199 études explorant 22 traits chez des millions de partenaires – QI, valeurs politiques, anxiété, etc. –, et analysé les données d'une biobanque portant sur près de 80 000 couples hétérosexuels et 133 traits différents. De quoi calculer le taux de corrélation de chacun d'entre eux au sein d'un couple...

Résultat : deux partenaires partagent de manière significative plus de 80 % des variables de personnalités répertoriées, notamment les positions

politiques et religieuses, le niveau d'études et la consommation de substances. En cause ? *"Certaines variables telles que la profession, les études ou le voisinage ont tendance à regrouper les gens en fonction de ce qu'ils ont en commun, décrypte Tanya Horwitz. Or, si vous fréquentez plus de personnes qui vous ressemblent, vous aurez logiquement plus de chance de vous mettre en couple avec l'une d'elles. Mais d'autres facteurs entrent en jeu : il est par exemple probable que nous rencontrions autant de gens grands que petits dans notre vie, pourtant nous aurions une préférence pour les personnes de taille similaire à la nôtre."* N'en déplaise aux romantiques, l'amour n'est finalement pas une question de hasard. **Coralie Hancock** *"Nat. Hum. Beh."*, août 2023



En pratique

## Si vous souffrez de *jet lag*, prenez un bon petit déjeuner

Pour comprendre comment le corps réagit au décalage horaire, des mathématiciens américains ont modélisé son rythme circadien. D'où quelques conseils : pour se recalibrer, il faut vite adapter les repas au nouveau fuseau horaire, prendre un premier petit-déjeuner copieux pour indiquer au corps que l'on est en activité, et éviter de manger les premiers soirs. *"Chaos"*, sept. 2023

## Refouler certaines pensées négatives serait bon pour la santé mentale

Ignorer ses angoisses provoque des maladies psychosomatiques, entend-on souvent. Deux psychologues anglais ont voulu le vérifier : ils ont entraîné 120 volontaires de 16 pays à bloquer leurs pensées négatives, notamment à l'évocation d'une grande peur. Résultat : les patients ont au contraire vu leurs angoisses diminuer, et leur bien-être général augmenter. *"Sci. Adv."*, sept. 2023

## Les pailles et gobelets en papier polluent aussi

En France, gobelets, pailles et couverts jetables en plastique ont été interdits pour protéger l'environnement, au profit de leurs homologues d'origine végétale. Mais voilà que plusieurs études alertent sur la dangerosité de ces derniers ! Une équipe de chercheurs de l'université d'Anvers, en Belgique, a notamment détecté la trace de polluants persistants (PFAS) dans les pailles en papier et en bambou. Problème : certains de ces composés synthétiques sont potentiellement cancérigènes. Moralité : mieux vaut éviter tout ce qui est jetable. *"Food Add. & Cont."*, août 2023



## Désinfectez régulièrement vos montres connectées !

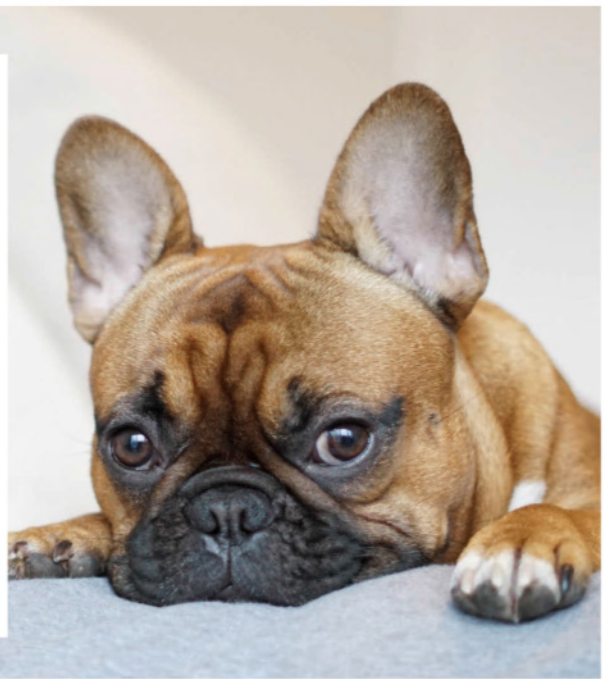
Ce sont de véritables nids à microbes, révèlent des chercheurs américains. En analysant des bracelets de montres, ils ont constaté que 95 % d'entre eux étaient contaminés par des bactéries potentiellement dangereuses – staphylocoques, *E. Coli*... – surtout ceux en plastique et en caoutchouc. Si les montres "classiques" ne sont pas épargnées, les connectées, davantage touchées par leur propriétaire, semblent particulièrement infectées. *"Adv. in Infect. Dis."*, juin 2023

## Malentendant ? Vous pourriez préférer la musique rétro

Selon une étude allemande, les personnes malentendantes ont tendance à apprécier les chansons aux mixages clairsemés, où les voix principales dominent et sont dotées d'aigus puissants. Or, depuis les années 1970, la production musicale a évolué vers l'inverse : les voix sont plus douces et les accompagnements plus forts. *"J. Acoust. Soc. Am."*, août 2023

## Si les bouledogues sont si populaires, c'est parce qu'ils ont besoin de nous

Des chercheurs hongrois ont invité des bouledogues anglais, français, et des mudis hongrois – des chiens de berger à museau long – à ouvrir des boîtes en bois renfermant de la nourriture. Après une minute, 90 % des mudis avaient réussi l'exercice ; contre seulement 50 % des bouledogues. Surtout, ces derniers abandonnaient vite et avaient quatre fois plus tendance à solliciter l'aide de leur maître ! Ce qui, selon les scientifiques, pourrait être perçu comme un aveu d'impuissance, et ainsi susciter davantage de bienveillance. D'où cette hypothèse : la popularité des chiens à face plate ne tiendrait pas qu'à leur apparence, mais aussi à leurs comportements, rappelant ceux d'un nourrisson. *"Scientific Reports"*, sept. 2023



SHUTTERSTOCK



Dylan Beiner  
dbeiner@reworldmedia.com

# L'enceinte pour écouter votre musique sous l'eau

Prix : env. 100 €  
Rens. : <https://www.sonr.pro/music>

Voici le Sonr Music, une enceinte étanche conçue par la start-up new-yorkaise Sonr. Sa promesse ? Utiliser la conduction osseuse pour écouter de la musique tout en nageant, sans gêner les autres sportifs. Et on doit admettre que ça marche plutôt bien ! Assez discret, l'objet ne pèse que 35 g et se présente sous la forme d'un petit disque en plastique de 6 cm de diamètre pour 1,5 cm d'épaisseur. Il ne gêne donc en rien le nageur,

qui n'a qu'à l'enfiler sous son bonnet (la recherche de la position idéale peut prendre une petite minute) pour que le son d'une qualité plus que correcte se diffuse via les os crâniens.

L'utilisation est simple : l'une de ses faces est constituée d'une membrane de haut-parleur à accoler au crâne. Et l'autre côté présente un bouton qui, selon le nombre de pressions, couvre toutes les fonctions : allumer/

éteindre, changer de musique, modifier le volume sonore, etc.

Le Sonr Music dispose de 16 Gb de mémoire : de quoi télécharger plusieurs heures de musiques. Il est également doté d'une fonction Bluetooth permettant de le coupler à un smartphone sur une portée d'au moins 25 m. À noter : il est indispensable de mettre des bouchons d'oreilles – fournis dans la boîte – sans quoi le bruit ambiant vient couvrir la musique. **D.B.**

L'autonomie est d'environ 4 h et l'appareil se recharge en 1 h 30 grâce à un câble magnétique à 4 broches.

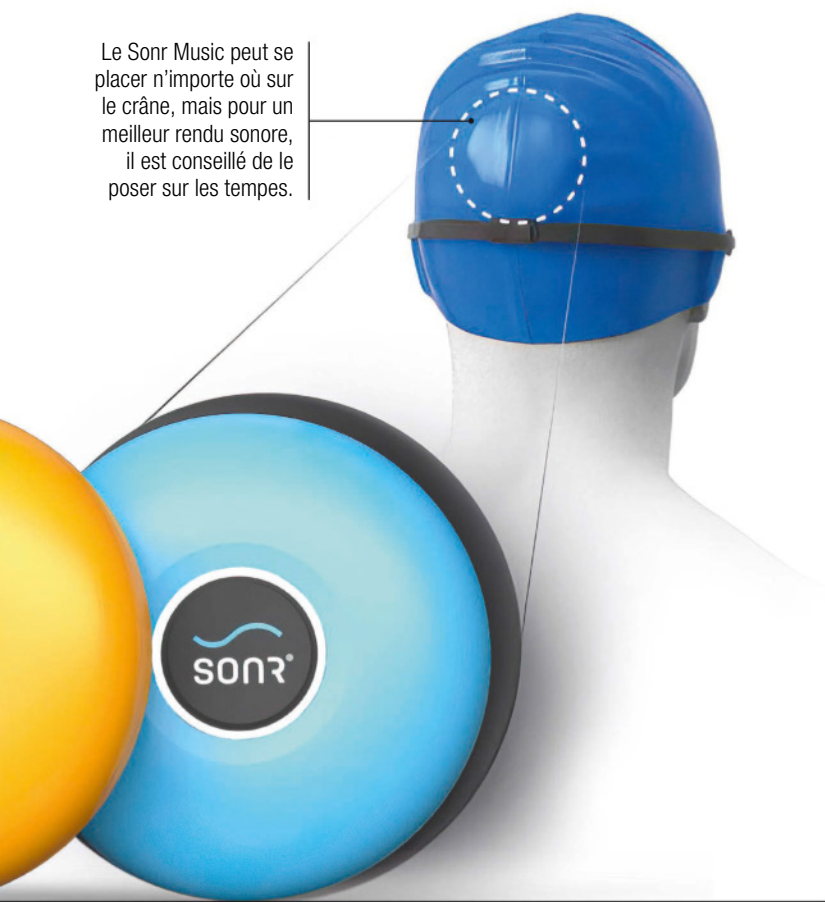
L'appareil propose deux niveaux sonores : un moyen, suffisant dans la plupart des situations, et un fort, inévitable lorsque la piscine est bondée.





✓  
**TESTÉ**  
par la rédaction

Le Sonr Music peut se placer n'importe où sur le crâne, mais pour un meilleur rendu sonore, il est conseillé de le poser sur les tempes.



## Un exosquelette qui facilite la randonnée

Prix : env. 680 €  
Rens. : [hypershell.cc](https://hypershell.cc)

Un petit coup de pouce dans les randonnées ? C'est ce que propose le fabricant chinois Hypershell avec son exosquelette Omega. Pesant seulement 2 kg, le dispositif détecte vos mouvements à l'aide d'une douzaine de capteurs, et une intelligence artificielle se charge de calculer l'assistance électrique dont vous avez besoin. Neuf modes sont disponibles afin de grimper, courir ou encore faire du vélo – le fabricant promet une aide à la portée de 30 kg au maximum, ou encore de vous faire courir jusqu'à 20 km/h. L'Omega dispose d'une autonomie de 25 km et loge dans un sac de 6,5 l une fois replié. **S.F.**



M.TUMELAIRE - DR

C'est dans nos vies



## La PlayStation 5 portable

Prix : env. 220 €

Rens. : [direct.playstation.com/fr-fr/buy-accessories/playstation-portal-remote-player](https://direct.playstation.com/fr-fr/buy-accessories/playstation-portal-remote-player)



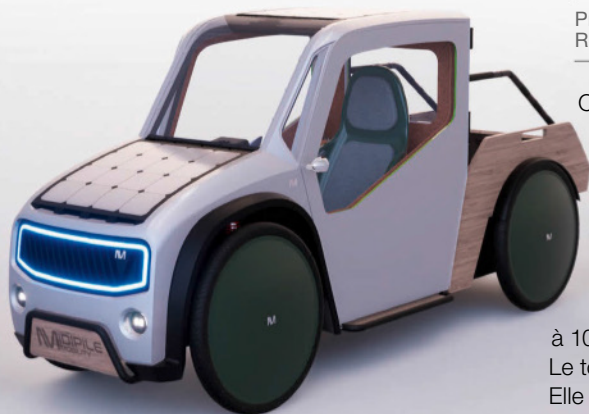
Pour ceux qui veulent profiter de leur PlayStation 5 en déplacement, Sony a développé la PlayStation Portal ! Il suffit d'un bon wi-fi : la Portal se connecte à votre console et lance les jeux installés dessus à distance. Son écran LCD de 8 pouces les affiche alors en 60 images par seconde et 1080p. Enfin, pour que vous vous sentiez encore plus comme à la maison, chaque poignée de la PS Portal constitue une moitié de la manette DualSense, le contrôleur officiel de la PlayStation 5. De ce fait, elle est pourvue du retour haptique dans les jeux compatibles.

S.F.

## Une voiture électrique à pédales

Prix : env. 14 400 € (précommande)

Rens. : [midipile.eu](https://midipile.eu)



Conçue par la start-up charentaise Midipile, cette voiture électrique à pédales est composée de plastique recyclé et de matériaux agrosourcés, d'un siège, d'un volant et, bien entendu, de pédales. L'utilisateur peut ainsi faire travailler ses cuisses pour recharger les batteries du véhicule, ou profiter des panneaux solaires installés sur le toit.

Enfin, l'autonomie moyenne du bolide est estimée à 100 km à vide, et la charge utile maximale à 300 kg. Le tout avec des pointes de vitesse de 45 km/h ! Elle s'adresse en priorité aux professionnels, mais tout-un-chacun pourra se la procurer.

S.F.



## Une montre pour sportifs en fauteuil roulant

Prix : env. 500 €  
Rens. : [garmin.com](https://garmin.com)

Outre son écran tactile AMOLED et son GPS intégré, la Venu 3, nouvelle montre de sport signée Garmin, se distingue surtout par son mode Fauteuil roulant. Celui-ci comptabilise les poussées au lieu des pas effectués et propose des entraînements adaptés. Il est même possible de programmer des rappels pour changer de position dans son fauteuil et éviter les escarres.

**L.B.**



## Le ventilateur tout-en-un pour la chambre

Prix : env. 370 €  
Rens. : [haxson.com](https://haxson.com)

L'AirFan de la société américaine Haxson se place au-dessus de la tête de votre lit et permet de chauffer (10 niveaux), ventiler (10 vitesses) et purifier l'air grâce à des filtres UV, carbone, et un ionisateur. Il fait aussi office de réveil, de lampe, d'enceinte connectée au smartphone, etc. Et si on l'installe verticalement sur un pied, il s'éteint automatiquement en cas de chute.

**S.F.**

## L'aspirateur super-autonome

Prix : env. 1 400 €  
Rens. : [samsung.com/fr/vacuum-cleaners/stick/bespoke-jet-ai-black-vs28c97b4qk-wd/](https://samsung.com/fr/vacuum-cleaners/stick/bespoke-jet-ai-black-vs28c97b4qk-wd/)

Construit par Samsung, le Bespoke Jet AI est un aspirateur doté d'une autonomie record : 100 minutes. Son secret ? Une intelligence artificielle ajuste la puissance d'aspiration et la vitesse de rotation de sa brosse en fonction du type de sol. Pratique pour éviter les mauvaises surprises lors d'un nettoyage de dernière minute.

**S.F.**



## Une enceinte alimentée par la lumière

Prix : 150 €  
Rens. : [urbanista.com/en-eu/pages/malibu](https://urbanista.com/en-eu/pages/malibu)

La Malibu, de la société suédoise Urbanista, est la première enceinte Bluetooth sans fil à recharge solaire ! De fines cellules photovoltaïques flexibles disposées sur sa surface captent la lumière, qu'elle soit naturelle ou artificielle. De quoi allonger son autonomie déjà estimée à une journée... dans la pénombre.

**S.F.**

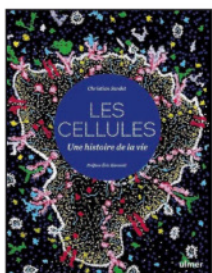


68

BEAUX LIVRES



# Beauté fondamentale



**Les Cellules**  
De Christian Sardet  
Éd. Eugen Ulmer Eds  
224 pp., 35 €

C'est une balade à couper le souffle dans l'infiniment petit, au cœur même de la machinerie de la vie, que propose le chercheur émérite du CNRS Christian Sardet. Virus, planctons, levures et autres eucaryotes – bref, toutes les cellules dans leur diversité –, sont ici décorés, expliqués et visités de fond en comble. Toujours didactique, le récit est accessible et plaisant à lire, même lorsqu'il s'attaque aux concepts les plus complexes. Ainsi, l'histoire des origines de la vie sur Terre, les rouages de l'héré-

dité et de la mort programmée, mais aussi les enjeux métaboliques sont abordés sans détour. Le tout en s'appuyant tantôt sur d'élégantes illustrations signées de la main de l'auteur, tantôt sur des images microscopiques ou des photos de science, toujours renversantes. En résulte un ouvrage qui se parcourt avec plaisir, qui se picore aussi, et dont le foisonnement d'anecdotes d'histoire des sciences ravira même les initiés. De quoi découvrir autrement la brique fondamentale du vivant.

# Le Continent blanc comme si vous y étiez



**Atlas de l'Antarctique**  
De Peter Fretwell  
Éd. Armand Colin  
220 pp., 35 €

Voici l'Antarctique sous toutes ses coutures ! À l'aide d'une ribambelle de cartes, graphiques, photos et images de science, ce beau livre explore le Continent blanc, aussi terrifiant que fascinant, et encore largement méconnu des chercheurs. Ses sept pôles, sa calotte, ses volcans, ses îles, sa faune et même sa flore n'auront plus aucun secret pour vous – une mine d'informations qui, nous devons bien l'avouer, se lit les yeux souvent écarquillés. Surtout, l'ouvrage n'omet pas de raconter la relation complexe entretenue par l'humanité avec cette étendue australe, depuis sa découverte

en 1819. Car si l'Antarctique est une terre habitée, c'est également un lieu touristique, un environnement à protéger et un enjeu géopolitique. Enfin, un dernier chapitre consacré au futur de ce continent nous rappelle les dangers qui risquent d'animer ses prochaines décennies. Le tout fait frissonner.



À voir à lire



## Créatures sans filtre

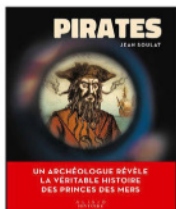


### Petites folies du vivant

- De Marie Treibert
- Éd. De Boeck Supérieur
- 176 pp., 19,90 €

Un blobfish finalement pas si moche, un bousier qui se repère grâce à la Voie lactée, une araignée qui fait la morte pour séduire, ou encore un oisillon qui se vomit dessus pour se défendre... La nature regorge d'espèces insolites, toutes plus étranges les unes que les autres! Et Marie Treibert, également connue pour avoir créé la chaîne Youtube "La boîte

à curiosités", prend un malin plaisir à nous les présenter. Grâce à d'amusantes illustrations et d'incroyables photos, parfois déroutantes, l'auteur nous raconte la vie sauvage telle qu'elle est : diverse, complexe, mais aussi fragile. La dernière partie de ce voyage est d'ailleurs consacrée au vivant malmené. L'on y apprend notamment que les grenouilles ont été utilisées comme tests de grossesse jusque dans les années 1970, ou que les quokkas, des marsupiaux australiens, sont menacés par le tourisme depuis que Federer a fait un selfie avec l'un d'eux... L'humain a aussi ses petites folies.



### Pirates

- De Jean Soulat
- Éd. Alisio
- 160 pp., 26,90 €

Barbe noire, Bartholomew Roberts, William Kidd...

Figures incontournables de la piraterie, ces forbans prêts à tout pour accumuler les trésors ont été rendus célèbres par les innombrables œuvres narrant leurs méfaits sanguinaires. Mais qu'en était-il réellement ? Dans ce livre rythmé d'archives, de découvertes archéologiques et d'anecdotes en tout genre, l'auteur canonne les clichés et tient le cap de ces vrais loups de mer. Hissez haut !

Figures incontournables de la piraterie, ces forbans prêts à tout pour accumuler les trésors ont été rendus célèbres par les innombrables œuvres narrant leurs méfaits sanguinaires. Mais qu'en était-il réellement ? Dans ce livre rythmé d'archives, de découvertes archéologiques et d'anecdotes en tout genre, l'auteur canonne les clichés et tient le cap de ces vrais loups de mer. Hissez haut !



### 100 spots de plongée à couper le souffle

- D'Anthony Leydet
- Éd. Larousse
- 216 pp., 25 €

Avis aux amateurs de plongée : ce magnifique ouvrage, ponctué de photos

grand format somptueuses, nous plonge dans les profondeurs les plus époustouflantes des mers parsemant le globe. Chaque spot est raconté par sa faune et sa flore, souvent étonnantes et singulières. Des conseils pratiques sont même prodigués à ceux prêts à se rendre sur place. Pour se préparer avant d'y plonger "en vrai" ou bien, tout simplement, pour rêver.

## Et aussi...

### EXPOSITION

#### Mission spatiale

- Cité des sciences, Paris
- Exposition permanente
- Tarif plein : 13 € ; réduit : 10 €



La Cité des sciences accueille une nouvelle exposition permanente dédiée à l'exploration spatiale ! Rovers, combinaisons, instruments de mesure et maquettes de lanceurs offrent au visiteur un panorama des technologies de pointe – il y a même une réplique d'un module d'habitat lunaire ! Pour accompagner de loin les spatonautes dans leur quête du cosmos, et en comprendre les défis et les enjeux.

### EXPOSITION

#### À nos amours

- Musée des confluences, Lyon
- Jusqu'au 25 août 2024
- Tarif plein : 9 € ; réduit : 6 €



De la Tanzanie à la Chine, de l'Antiquité au XXI<sup>e</sup> siècle, de l'humain au poisson, cette exposition raconte l'amour à travers les âges, les cultures et les espèces, grâce à une belle collection d'artefacts, accessoires et œuvres. Un parcours tout en douceur, rythmé par des activités ludiques autour du cinéma, de la chanson, mais aussi de l'inévitable chimie de l'amour.

# Pourrait-on massivement dessaler l'eau de mer ?

Question de Rémy Couet, Québec (Canada)

Ce qui est sûr, c'est que des techniques pour rendre l'eau de mer consommable existent. *"Les plus utilisées sont la distillation et l'osmose inverse, explique Mihail Barboiu, chercheur à l'Institut européen des membranes de Montpellier. La première consiste à chauffer l'eau de mer pour qu'elle s'évapore, puis à la condenser pour la récupérer sous forme liquide débarrassée de son sel. La seconde vise à appliquer à l'eau salée une pression suffisante pour la faire passer à travers une membrane semi-perméable, laquelle ne peut être traversée que par les molécules d'eau."* À ce jour, plusieurs pays recourent déjà à ces techno-

logies, parfois massivement –Émirats arabes unis, Koweït, Arabie saoudite...

## Coût écologique

À moindre échelle, certains pays européens les utilisent aussi –Italie, Grèce, Espagne, France. Cette dernière les réserve à quelques îles confrontées à une très forte pression sur les ressources en eau. Et pour cause: *"Cette approche n'est pas une panacée compte tenu de ses coûts énergétiques et environnementaux"*, estime Christophe Mori, du Laboratoire d'hydrobiologie à l'université de Corse. De fait, d'après un rapport dévoilé en juillet 2023 par l'Académie des technologies, dessaler 1 000 000 l

par jour consomme l'équivalent d'environ 10 000 t de pétrole par an. De plus, le secteur produit chaque année environ 120 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit près de la moitié des émissions annuelles d'un pays comme l'Espagne. Enfin, ces techniques engendrent le rejet de saumure –de l'eau très chargée en sel–, contenant parfois certains métaux et du chlore. Un mélange toxique pour l'environnement, souvent largué à moins de 10 km des côtes, où se concentre une bonne partie de la vie marine... Dessaler massivement l'eau de mer pourrait ainsi répondre à une crise... en aggravant d'autres.

K.B.



▲ Les usines de dessalement (ici, aux Canaries) n'offrent pas de solution satisfaisante à la crise hydrique.



> En apesanteur, la flamme est ronde et la combustion lente.

# Quelle forme prend une flamme

Question de Natalia Baron, Torcy (77)

Elle est toute ronde! Ce phénomène a été observé dans la Station spatiale internationale, où ont lieu des expériences sur les flammes depuis 2012. *"Deux hypothèses s'affrontaient au départ,* raconte Daniel Dietrich, ingénieur aérospatial à la

Nasa. *Certains estimaient que la flamme allait s'éteindre, d'autres qu'elle serait sphérique."* C'est donc la seconde qui s'est révélée exacte. Pourquoi? Lors de la combustion sur Terre, les gaz présents au niveau de la flamme, chauffés, se dilatent et



## me en l'absence de gravité ?

deviennent moins denses que l'air frais alentour. Davantage soumis à la gravité, ce dernier a alors tendance à repousser vers le haut les gaz chauffés, qui se mettent à monter – c'est la poussée d'Archimède. À la base de la flamme, ces gaz sont sans cesse remplacés par de l'air froid, qui alimente la combustion

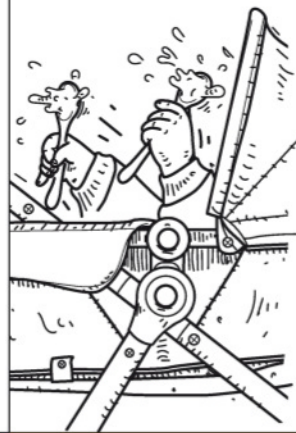
en oxygène, et la flamme prend une forme allongée. Mais sans gravité, pas de poussée d'Archimède! Conséquence : les gaz chauds ne montent pas et restent autour de la flamme, se dilatant de la même manière dans toutes les directions, ce qui forme un globe lumineux. En l'absence de flux amenant de l'air frais et

oxygéné au combustible central, on pourrait penser que la flamme s'éteindrait... *“Mais les expériences en micro-gravité ont montré que l'oxygène parvient quand même à diffuser à travers le gaz chaud”*, détaille Daniel Dietrich. Résultat : la combustion se maintient, mais à un rythme 100 fois plus lent. **A.D.**

## Quand sait-on si un enfant est gaucher ou droitier ?

Question de Florence Roucolle, Paris (75)

On peut le deviner alors qu'il est encore dans le ventre maternel! *“Plusieurs études ont montré que la succion du pouce fœtale était assez prédictive de la préférence manuelle d'un individu”*, raconte Gillian Forrester, de l'université du Sussex, en Angleterre. En 1991, des chercheurs irlandais ont ainsi étudié les gestes de 75 enfants dès la 15<sup>e</sup> semaine de grossesse... et 12 ans plus tard. Les 60 qui suçaient leur pouce droit *in utero* étaient tous droitiers; et 10 des 15 ayant sucé leur pouce gauche étaient gauchers. *“Mais la façon, déli-bérée ou imposée, dont l'enfant utilise ses mains au quotidien peut modifier cette préférence innée, grâce à la plasticité cérébrale qui remodèle les connexions nerveuses”*, tempère la chercheuse. **K.B.**



NASA - ALAMY STOCK PHOTO/HÉMIS - B.BOURGEOIS

## Quelle est la capacité de stockage d'un cerveau ?

Question de Pierre Reboul, La Rochelle (17)

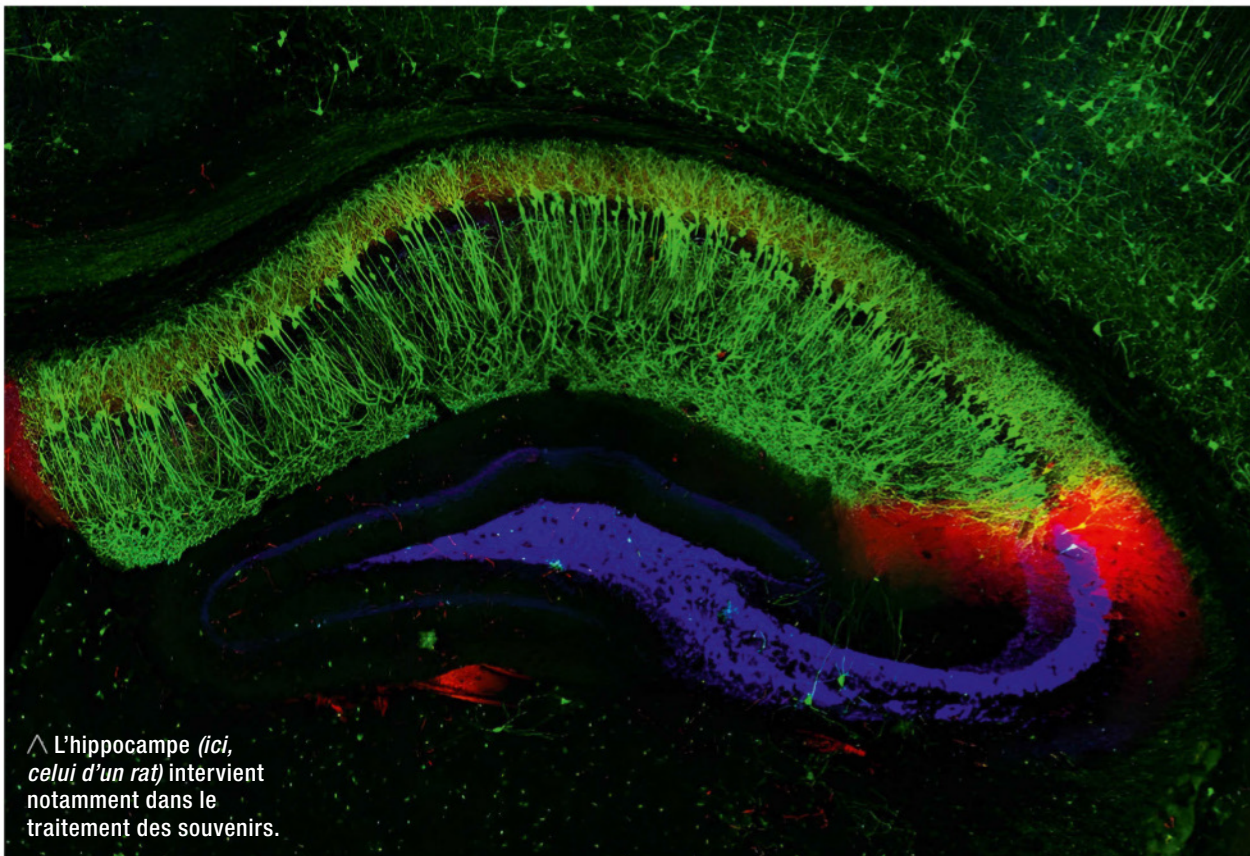
Impossible à dire ! Des chercheurs ont tout de même avancé, en 2018, une capacité totale chez l'humain de 1 pétaoctet ( $10^{15}$  octets), soit l'équivalent de 1 000 disques durs de 1 000 Go chacun. Pour cela, ils ont étudié la capacité mémorielle de l'hippocampe – connu pour jouer un rôle dans le traitement des souvenirs – de rats, et ont extrapolé les mesures à toutes les

aires cérébrales censées intervenir dans la mémoire... Ils ont ensuite converti ce résultat au cerveau humain.

Mais en réalité, la mémoire ne fonctionne pas comme une clé USB : *“Ce n'est pas une sorte de réceptacle ou de sac qui, après un certain volume ou nombre d'informations, serait plein, confirme Francis Eustache, professeur en*

neuropsychologie et imagerie de la mémoire humaine à l'Inserm de Caen. *Elle fonctionne au contraire différemment, car les informations y sont remaniées, sémantisées et reliées entre elles. Certaines restent disponibles, et d'autres passent à l'arrière-plan en fonction de nos intentions, désirs, aspirations.”* Surtout, les capacités de stockage ne concernent pas une seule mais de nombreuses régions cérébrales, et toutes n'interviennent pas

de la même façon selon le type d'apprentissage. D'ailleurs, les mécanismes impliqués ne sont toujours pas précisément connus. *“Enfin, la mémoire dépend de nombreux facteurs, comme l'environnement, le traitement de l'information en profondeur, la répétition ou encore la pratique. La seule chose qui est sûre, c'est que même si elles ne sont pas quantifiables, ces capacités sont considérables”,* affirme le chercheur. **F.C.**



△ L'hippocampe (ici, celui d'un rat) intervient notamment dans le traitement des souvenirs.



^ Le temps de dégradation des microplastiques fait encore débat.

## En cas d'extinction, quelles traces humaines perdureraient le plus ?

Question de Manon Marquis, Thiais (94)

Si une intelligence extraterrestre venait sur Terre, elle pourrait y détecter la signature humaine jusqu'à quelques milliards d'années après sa disparition ! Les infrastructures modernes s'effondreraient en quelques dizaines d'années seulement. Il faudrait encore plusieurs siècles pour qu'elles s'effritent complètement et, surtout, pour que tous les mélanges non naturels se retrouvent éparpillés en simples éléments. Le verre artificiel et les alliages des appareils électroniques mettraient, eux, plusieurs milliers d'années à disparaître. Le plastique se dégraderait en plusieurs siècles, pour ne laisser que des microparticules qui, elles, pourraient perdurer bien plus longtemps –leur longévité n'a pas été estimée. Enfin, certains dents fossilisées pourraient résister plus de 10 millions d'années. En fait, ce dont la Terre garderait la trace le plus longtemps sont les déchets nucléaires : les concentrations anormales d'éléments radioactifs, notamment l'uranium 235, seraient détectables des milliards d'années ! *"Mais seulement à l'échelle microscopique, pointe Ludovic Antoine, du Groupe de recherche archéologique vellave. Ce ne sera donc pas la première chose qui sautera aux yeux."* **F.C.**

## Comment la colle colle-t-elle ?

Astrid Brousseau, Nice (06)

Grâce à l'action de polymères –de longues molécules qui se forment quand la colle se durcit–, capables de créer des ponts entre les différentes surfaces. Plusieurs types existent, et sont plus ou moins efficaces selon les matériaux. *"Parmi les plus répandues, les polymères des colles fortes utilisent des mécanismes chimiques : ils créent des liaisons covalentes très*

*solides"*, explique Maëllenn Aufray, chercheuse à l'université de Toulouse. Ces liaisons se forment lorsque deux atomes partagent des électrons : *"Les atomes de la colle et du support s'accrochent alors très fortement, avance la chercheuse. Une autre famille de colles, dites faibles, utilise des mécanismes thermodynamiques créant des liaisons de Van der Waals, beau-*

*coup plus faciles à casser."* Dans ce cas, pas d'échange d'électrons : les atomes s'attirent seulement comme le feraient des aimants –c'est le cas des Post-it. *"Enfin, certaines colles utilisent l'ancrage mécanique, ajoute Maëllenn Aufray. Leurs polymères s'infiltrant dans les pores d'un substrat rugueux et s'y accrochent, comme le ferait l'ancre d'un bateau se coinçant entre les rochers."* Nombre de colles pour métaux fonctionnent ainsi. **F.C.**

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

**SCIENCE&VIE**

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

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

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

## Pourquoi les chats dorment-ils autant ?

Question de Pénélope Gleyze, Paris (75)

C'est un héritage métabolique ! Le chat domestique (*Felis catus*) partage un ancêtre commun récent avec le chat sauvage (*Felis silvestris lybica*). Or ce dernier, étant à la fois proie et prédateur, présente un métabolisme très rapide : au cours de la journée, il peut chasser une dizaine de fois et fuir tout autant, ce qui implique un fort besoin énergétique. Il

doit donc beaucoup se reposer pour récupérer : en moyenne, un chat sauvage dort entre 12 et 14 heures par jour. Un mode de fonctionnement qui a été conservé par le chat domestique. Son sommeil, comme celui de l'humain, se présente sous différentes phases : *"Elles ne sont pas évidentes à déterminer par la seule observation, mais on y est parvenu*

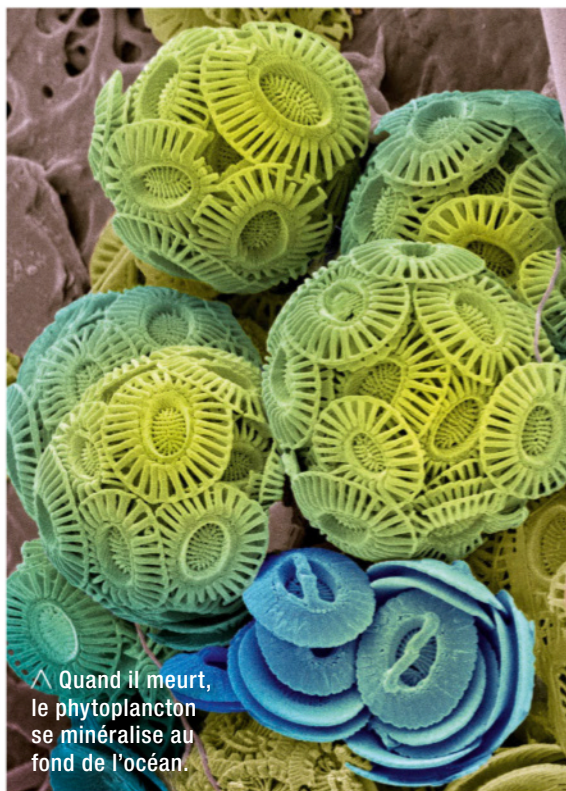
*grâce à un électroencéphalogramme"*, explique Jessica Serra, docteur en éthologie. Les ondes qui traversent le cerveau de ces félins au repos permettent de distinguer un sommeil profond, un sommeil paradoxal et un sommeil léger. En sommeil paradoxal, le chat rêve : *"L'observation de micromouvements oculaires rapides le prouve"*, poursuit l'éthologue. Lorsqu'il est étalé de tout son long sur le canapé, le chat est vrai-

semblablement en plein sommeil récupérateur, profond, caractérisé par un rythme cérébral ralenti. Enfin, en sommeil léger, le chat ne dort que d'une oreille : il reste aux aguets et peut réagir au moindre stimulus. Sur ses 14 heures de sommeil, le chat domestique ne dort donc parfois pas vraiment... Mais d'autres études seraient nécessaires pour déterminer la part exacte que prend ce sommeil léger sur le total. **S.B.**

## La hausse de CO<sub>2</sub> influence-t-elle sur la production d'O<sub>2</sub> du phytoplancton ?

Question de Gilles Goubet, Lyon (69)

Théoriquement, oui. Le phytoplancton produit, à partir du CO<sub>2</sub>, à peu près les mêmes quantités d'oxygène que les plantes terrestres. Cet organisme vit en surface de l'océan, se nourrit de nitrate puis, lorsqu'il meurt, coule et se minéralise pour donner, à son tour, du nitrate. Ce dernier remonte alors grâce aux courants verticaux provoqués par les différences de température et, finalement, nourrit de nouveaux phytoplanctons. Or, comme le CO<sub>2</sub> anthropique augmente, les surfaces des océans se réchauffent, créant un contraste brutal avec la température de l'eau en profondeur. *"Cela crée une barrière naturelle qui empêche le nitrate de remonter"*, précise Marina Lévy, océanographe et directrice de recherche au CNRS. *Les phytoplanctons se retrouvent donc sans élément nutritif et leur population se réduit, laissant se développer des surfaces désertiques."* Impossible de dire si, aujourd'hui, la quantité totale d'O<sub>2</sub> produite par le phytoplancton est impactée. Mais selon une étude de 2015, une hausse de la température des océans de 5 à 6°C pourrait faire disparaître cet organisme : les conséquences seraient alors désastreuses. **S.B.**



^ Quand il meurt, le phytoplancton se minéralise au fond de l'océan.

**Sauvegardez votre patrimoine vidéo familial avec le numériseur de films 8mm et super8!**

Vos films 8mm et super 8 dorment dans votre grenier sans que vous puissiez en profiter? Vous ne souhaitez pas passer par un professionnel onéreux pour les numériser? Voici ENFIN une solution simplissime pour les sauvegarder : ce numériseur de films 8mm et super 8!



**SIMPLE ET SANS ORDINATEUR**

Placez le film sur la bobine et choisissez le type (8mm et super8) sur le sélecteur. Lancez la numérisation : le film est enregistré image par image sur une carte SD! Vous pouvez ensuite les visionner et les sauvegarder sur le support de votre choix (ordinateur, tablette, mobile, etc) pour partager des moments inoubliables en famille!



**Caractéristiques techniques :** CAPTEUR CMOS 1/3 HD 3,53 MÉGAPIXELS • RESOLUTION DU SCAN : 1440 x 1080 PIXELS à 20 IMAGES/S • ENREGISTRE DIRECTEMENT SUR CARTE SD JUSQU'À 32 Go (NON FOURNIE), NE NÉCESSITE PAS D'ORDINATEUR • ENREGISTREMENT DE LA BANDE VIDÉO UNIQUEMENT (PAS DE SON). • FORMAT D'ENREGISTREMENT : VIDÉO MP4 • EXPOSITION AUTOMATIQUE, CORRECTION MANUELLE POSSIBLE (-2,0 JUSQU'À +2,0 EV), BALANCE DES BLANCS AUTOMATIQUE • SOURCE DE LUMIÈRE : ÉCLAIRAGE LED • ÉCRAN LCD TFT INTÉGRÉ : 6 CM / 2,4" • PORT USB 2.0 POUR LE TRANSFERT DES DONNÉES VERS UN ORDINATEUR • SORTIE TV : PAL / NTSC • POUR BOBINES DE FILMS SUPER 8 ET 8 MM (ADAPTEUR 8/13 MM FOURNI) JUSQU'À 17,8 CM / 7" • REMBOBINAGE RAPIDE (NÉCESSITE ENVIRON 2 MINUTES POUR 10 MINUTES DE FILM) • POIGNÉE DE TRANSPORT • CONNECTIQUE : SORTIE TV (JACK 3,5 MM), PORT MINI-USB, FENTE POUR CARTES SD(HC) JUSQU'À 32 Go (CARTE DE 8 Go MINIMUM REQUISE) • COMPATIBLE WINDOWS XP ET ULTÉRIEUR, OS X À PARTIR DE 10.7.3 • ALIMENTATION : 12 V VIA ADAPTEUR SECTEUR 230 V (LONGUEUR DE CÂBLE : 1,2 M) • DIMENSIONS: 32 x 18,5 x 11 CM, POIDS : 1,5 KG • CONTENU DE LA BOÎTE = SCANNER DE FILM AVEC BOBINE VIDE, ADAPTEUR SECTEUR, CÂBLE VIDÉO (JACK 3,5 MM VERS CINCH, LONGUEUR 150 M) ET CÂBLE USB (MINI-USB VERS USB, LONGUEUR 100 CM). • Eco-PARTICIPATION 0€50 INCLUSE, GARANTIE 2 ANS.

**SCANNER NUMÉRISSEUR SUPER 8**  
**399€**

**BON DE COMMANDE**

À renvoyer à : La Boutique Science & Vie - 59898 LILLE CEDEX 9

OUI, JE COMMANDE	Réf.	Qté	Prix	Total
Scanner numériseur vidéo super 8	424.432	x	399 €	€
FRAIS DE PARTICIPATION POUR ENVOI EN COLISSIMO Livraison 10 jours après enregistrement de ma commande.				+ 15,00 €
<b>MONTANT TOTAL DE MA COMMANDE</b>				€

**Mes coordonnées** (\*A remplir obligatoirement) # M091 # V1545136

Nom\* : \_\_\_\_\_  
 Prénom\* : \_\_\_\_\_  
 Adresse\* : \_\_\_\_\_  
 Code Postal\* : \_\_\_\_\_ Ville\* : \_\_\_\_\_  
 E-mail : \_\_\_\_\_  
 Votre email nous sera utile si besoin pour le suivi de votre commande.



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

Offre valable France Métropolitaine valable jusqu'au 31/03/2024 dans la limite des stocks disponibles. Conformément à l'article L 221-18 du code de la consommation, vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception de votre commande et vous pouvez nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Les frais d'envoi et de retour restent à votre charge. Les informations demandées sont destinées à la société REWORLD MEDIA MAGAZINES (KiosqueMag) à des fins de traitement et de gestion de votre commande, d'opérations promotionnelles, de fidélisation, de la relation client, des réclamations, de réalisation d'études et de statistiques et, sous réserve de vos choix, de communication marketing par KiosqueMag et/ou ses partenaires par courrier, téléphone et courrier électronique. Vous bénéficiez d'un droit d'accès, rectification, d'effacement de vos données ainsi que d'un droit d'opposition en écrivant à RMM-DPD, c/o service juridique, 40 avenue Aristide Briand - 92220 Bagneux, ou par mail à [dpd@reworldmedia.com](mailto:dpd@reworldmedia.com). Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - [www.cnil.fr](http://www.cnil.fr). Pour en savoir plus sur la gestion de vos données personnelles, vos droits et nos partenaires, consultez notre politique de confidentialité sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).



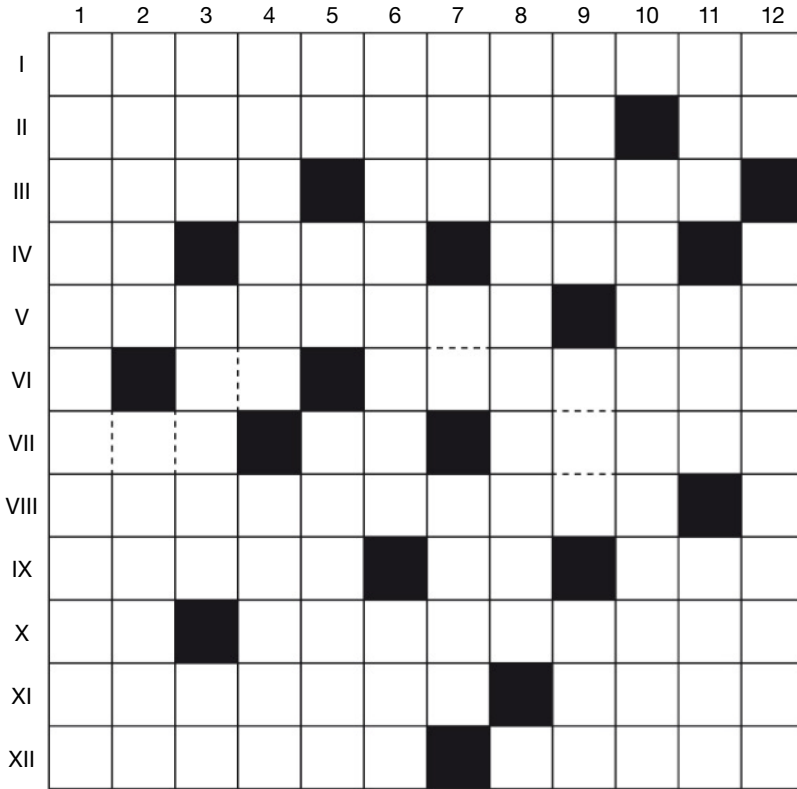
Cet emblème garantit notre adhésion à la fédération du e-commerce et de la vente à distance et à ses codes de déontologie fondés sur le respect du client.

N° de tél. (obligatoire pour la livraison)

Date de votre anniversaire :

- Je ne souhaite pas recevoir les offres Privilège de Science&Vie et Kiosquemag sur des produits et services similaires à ma commande par la Poste, e-mail et téléphone. Dommage!
- Je ne souhaite pas que mes coordonnées postales, mon e-mail et téléphone soient communiqués à des partenaires pour recevoir leurs bons plans. Dommage!

# À vous de jouer!



VERTICALEMENT

1. Même remboursées, elles te coûtent un œil.
2. Au près de son arbre, elle vivait heureuse. Vue ou touchée.
3. Tira cent balles. Moins une, pour Shéhérazade. La masse du cheveu.
4. Pigment synthétisé par le cône rétinien. Niche funéraire occupée par Soprano?
5. Une Dalton. Premier sous sol. Au milieu des moutons.
6. Intrus dans le vestibule. Il revient à la charge.
7. Nombre d'or. Par exemple. Le sixième n'a rien de scientifique.
8. Laid Zeppelin qui mit le feu au New Jersey.
9. Un pro de l'examen des pieds. Futur officier. Volcan actif du Japon.
10. Telle la relativité de la théorie d'Einstein.
11. Une escale, hop! H d'Athènes. Laurel sans Hardy.
12. Dupé. Prévenant l'effet des poisons et venins.

HORIZONTALEMENT

- I. Une pratique n'excluant pas de s'accorder un petit taon mort.
- II. Le bleu de la mer en pâlit. Trouvé à la une de *Science & Vie*.
- III. Un danger aux heurts de pointes. Prendre un grand chrême.
- IV. Cérium de démonstration. Des conifères qui peuvent sembler hypothétiques. Il enseigna la géométrie euclidienne et fut ami de Mercator.
- V. Lentille de grande surface. Le goûter fait grimacer ou sourire.
- VI. *Id est*, autrement dit. Ciseau de tailleur de pierre.
- VII. Aide de la Caf. L'Apocalypse, mais pas après prolongations. Les alchimistes l'utilisaient déjà pour économiser le combustible.
- VIII. La pression dans la fusée *Starship* en est une.
- IX. Aragon dévoila tout d'elle. Erbium. Est allemand.
- X. Accord. Dynamique et élégante.
- XI. Atomiques, ils indiquent combien un noyau a de protons. Étoile pas observée au télescope.
- XII. Sa Blanquette finit dévorée. Il fallait bien ça, pour harponner Moby Dick.



# Le mois prochain dans **SCIENCE&VIE** En kiosque le 20 décembre

À LA UNE

## Et soudain... la vie!

Comment l'inerte  
s'est animé

DOSSIER

# Physique fondamentale

On a mesuré la force forte

**SCIENCE&VIE**

### RÉDACTION

40, avenue Aristide Briand,  
CS 10024 - 92227 Bagneux Cedex  
Tél. : 01 46 48 47 11  
Questions à la rédaction :  
svmns@reworldmedia.com

### RÉDACTEUR EN CHEF

Thomas Cavaillé-Fol

### RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Dylan Beiner-Molière,  
Thomas Delozier

### SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

### DIRECTION ARTISTIQUE

Monatier Claudestin

### PREMIÈRE MAQUETTISTE

Sophie Leclerc

### SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Virginia Power (chef de service  
photo), Isabelle Henneron

### ASSISTANTE DE LA RÉDACTION

Christelle Borelli

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

T. Allard, K. Bettayeb, L. Blancard,  
S. Boulevard, B. Bourgeois, F. Cadu,  
G. Cirade, D. Cornélien, A. Debroise,  
G. Deparnbour, O. Donnars,  
E.-O. Eljaouhari, V. Faivre, S. Fay,  
R. Fouchard, P. Fricot, L. Gougis,  
E. Haentjens, C. Hancock, T. Jones,  
M. Kontente, H. Leroux, E. LoMeo,

R. Malaurent, C. Mauger, Paykhan,  
A. Périnet, S. Ponge Pécout, B. Rey,  
Y. Sciamia, M. Tumelaira

### DIRECTION-ÉDITION

#### ÉDITEUR

Germain Périnet

#### ÉDITRICE ADJOINTE

Charlotte Mignerey

#### DIRECTRICE DES RÉDACTIONS

Karine Zagaroli

#### DIRECTEUR ADJOINT DES RÉDACTIONS

Philippe Bourbeillon

### PÔLE DIGITAL

RESPONSABLE: Fatou Diallo

### PUBLICITÉ

#### DIRECTRICE EXÉCUTIVE RÉGIE

Élodie Bretauudeau-Fontailles

#### CONTACT PUBLICITÉ

Directrice de pôle commercial :

Catherine Mireux (19 02)

#### PLANNING

Angélique Consoli (53 52)

Stéphanie Guillard (53 50)

#### RESPONSABLE TRAFIC

Catherine Leblanc (43 86)

#### OPÉRATIONS SPÉCIALES

Marie-Océane Vaur (43 84)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(infododon@publieurope.com -

44 (0)20 7927 9800);

Allemagne: Publieurope Munich

(infomunich@publieurope.com

0049 89 2908150);

Suisse: Publieurope Lausanne

(infolausanne@publieurope.com

0041 21 323 3110);

Espagne: Publimedia Madrid

(infomadrid@publim-gestion.es

0034 91 212 83 00)

### MARKETING/ INTERNATIONAL

RESPONSABLE: Giliane Douls

### ABONNEMENTS ET DIFFUSION

#### DIRECTRICE MARKETING DIRECT

Catherine Grimaud

#### CHEF DE PRODUIT MARKETING DIRECT

Karine William

#### RESPONSABLE VENTES MARCHÉ

Siham Daassa

#### RESPONSABLE DIFFUSION

Isabelle Fargier

### SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE

59898 Lille Cedex 9

01 46 48 48 96

(de 8 h à 20 h, du lundi au samedi,

prix d'un appel local)

Pour toute réclamation/  
modification concernant votre

abonnement:

[www.serviceabomag.fr](http://www.serviceabomag.fr)

Retrouvez toutes nos offres sur:

[www.kiosquemag.com/titres/](http://www.kiosquemag.com/titres/)

[science-vie/offres](http://science-vie/offres)

Prix de vente: 4,90 €

Prix de l'abonnement:

1 an, 12 numéros pour 58,80 €

États-Unis et Canada: Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse: Edigroup, 022 860 84 50

[reworld@edigroup.ch](mailto:reworld@edigroup.ch).

Belgique: Edigroup Belgique, 070

233 304 [reworld@edigroup.be](mailto:reworld@edigroup.be)

Autres pays: nous consulter

### ÉDITEUR

REORLD MEDIA MAGAZINES SAS

40, avenue Aristide Briand,

CS 10024 - 92227 Bagneux Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Gautier Normand

### ACTIONNAIRE

Reworld Media France

(RCS Nanterre 477 494 371)

Tél. accueil: 01 41 33 50 00

### AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL

Origine du papier: Allemagne

Taux de fibres recyclées: 0 %

Certification: PEFC

Impact sur l'eau:

Ptôt 0,014 kg/tonne

Dépôt légal: décembre 2023

Date de parution: 22/11/23

N° ISSN: 0036-8 369

N° CPPAP: 1025 K 79977



SHUTTERSTOCK

D'après une question d'Alain Dugas, Mérignac (33)

Tu sais comment on calcule la vitesse d'un astéroïde ?

Difficilement !



Il ne suffit pas de le regarder se déplacer dans le ciel, et de calculer le temps qu'il met à aller entre deux points ?

Ben non, il se déplace en 3D. Avec ta méthode, on ne verrait pas si, entre les deux points, il s'éloigne ou se rapproche aussi de nous.



Alors comment ?

On commence par prendre plusieurs mesures très espacées de sa position, puis on cherche la trajectoire autour du Soleil qui les reproduit.



Ah oui, puisque la plupart des astéroïdes tournent autour du Soleil...

C'est ça. Et une fois qu'on connaît son orbite, on peut calculer sa vitesse.



Elle est de combien généralement ?

Ça dépend. L'astéroïde Bennu, par exemple, tourne à 100 000 km/h autour du Soleil.



Ce serait génial de prendre une bosse, et pfiou, de s'envoler jusqu'à prendre une telle orbite !

Calme-toi, Calvin...



# Avec Okoo

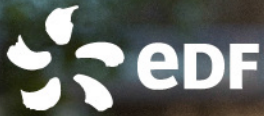
## 3 bonnes raisons d'éveiller vos enfants à la science



Okoo-koo • Les extra-curieux • C'est toujours pas sorcier

DISPONIBLE  
SUR





Devenons l'énergie qui change tout.



RCS PARIS 552 081 317

# Pour Paris 2024, pour tous les Français.

Le groupe EDF installe près de 800 bornes de recharge pour véhicules électriques pour Paris 2024, qui seront ensuite redéployées partout en France.



[edf.fr/paris2024](https://edf.fr/paris2024)  
L'énergie est notre avenir, économisons-la!