

SEP M
TOP
ventes



epsilon  **n**
nouveau magazine d'actualité scientifique

n°

24

juin
2023

PLASTIQUE

**ENQUÊTE SUR
LA PLUS GRANDE
POLLUTION
DE TOUS LES TEMPS**

DÉCOUVERTE

LA PLANTE
QUI PRATIQUE
L'ÉLEVAGE

**PILULE
MASCULINE**

POURQUOI ELLE
N'EXISTE PAS

**SUR LA PISTE
DU TROU NOIR
PLUS VIEUX
QUE L'UNIVERS**

ROBOTS

LE PREMIER
CHANTIER
SANS HUMAINS

ASTEROID CITY

WES ANDERSON
CHEZ LES EXTRA-
TERRESTRES

BELUX: 6,20 € - CH: 10 CHF - IT-ESP-PORT-CONT.:
6,30 € - DOM: 6,30 € - TOM: 920 XPF - TUN: 13 TND
MAR: 67 MAD - CAN: 9,99 CAN - D: 8,50 € CPPAP

L 14100 - 24 - F: 5,90 € - RD



Pour que demain
les plus fragiles
aient toujours
leurs médecins

Les jumelles Heba et Malath ont été soignées dans l'unité mère-enfant de l'hôpital Al Jamhuri que nous soutenons au Yémen. Les legs et assurances-vie nous permettent d'être aux côtés des plus fragiles, où qu'ils soient. Et grâce à votre générosité, nous pouvons, sans relâche, continuer de les soigner, comme nous le faisons depuis plus de 50 ans.



OBTENEZ UNE BROCHURE legs et assurance-vie gratuite et confidentielle

en scannant ce code ou en renvoyant ce coupon, sans affranchir votre enveloppe, à Médecins Sans Frontières Libre réponse - Autorisation 10617 75884 - Paris Cedex 18



MES COORDONNÉES M Mme

Prénom : _____ Nom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

E-mail : _____ @ _____

Téléphone : _____



Catherine Béchereau,
chargée des relations
testateurs, répond à vos
questions en toute discrétion.

TÉL : 01 40 21 29 09

E-MAIL : relations.testateurs@paris.msf.org

14-34 avenue Jean-Jaurès 75019 Paris

leguez.msf.fr

Reconnue d'utilité publique, Médecins Sans Frontières est habilitée à recevoir des legs, donations, assurances-vie exonérées de droits de succession.

Les informations recueillies dans ce formulaire sont destinées au département de la collecte de dons et aux tiers mandatés par MSF à des fins de gestion interne et pour faire appel à votre générosité. Elles ne sont conservées que pendant la durée strictement nécessaire à la réalisation de ces finalités. Ces données peuvent faire l'objet d'un transfert, notamment vers un pays en dehors de l'Union Européenne, qui sera encadré par les garanties appropriées requises par la réglementation sur la protection des données. Conformément au RGPD et à la Loi Informatique et Libertés, vous disposez de droits sur vos données (accès, rectification, suppression, limitation, portabilité, opposition) quant à leur traitement et à leur utilisation à des fins de prospection, que vous pouvez exercer en nous écrivant par e-mail à donateurs@paris.msf.org ou par courrier à 14-34 avenue Jean Jaurès - 75019 PARIS. Pour plus d'information, vous pouvez consulter notre politique de confidentialité disponible sur notre site internet.

Édito



MURIEL VALIN
RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE

En nous lançant dans ce dossier spécial sur l'impact écologique et sanitaire du plastique, nous savions que nous ne ferions pas d'énorme révélation – cela fait quelques années déjà que les analyses, les modélisations théoriques, les études biologiques ont fourni des données solides sur l'ampleur de cette pollution. Mais avouons-le, nous ne nous attendions pas à une telle émotion, à une telle inquiétude, une telle gravité. Nous avons rarement recueilli des propos aussi durs. Parmi la trentaine de chercheurs interrogés, la plupart reconnaissent qu'ils ont eux-mêmes été surpris par l'ampleur des dégâts. Et c'est cette surprise, in fine, que nous voulons vous transmettre.

epsil∞n ENQUÊTER

Notre travail de journalistes ne consiste pas tant à vulgariser les nouvelles idées scientifiques pour tâcher de les rendre plus accessibles aux profanes, qu'à rendre compte des découvertes, et de l'émotion qui leur est associée. C'est pour cela que nous n'interrogeons pas de grandes figures de la vulgarisation scientifique – nous

ne sommes pas à la recherche de nouvelles métaphores pédagogiques. Nous voulons recueillir les réflexions de ceux qui sont en train de faire les recherches, les premiers auteurs des publications, les postdoctorants et postdoctorantes qui ont encore les mains dans le cambouis, au labo ou sur le terrain. C'est ce qui nous amène à interroger, pour chaque numéro, une certaine de spécialistes, toujours différents. C'est notre méthode d'enquête. Celle que nous avons adoptée pour être au plus près d'une sorte de vérité. Fût-elle parfois particulièrement douloureuse à entendre...

ABONNEZ-VOUS À **epsil∞n** ET NE MANQUEZ AUCUN NUMÉRO EPSILOON.COM

2 ans après, c'est reparti sur Ulule !

Il y a deux ans, nous avons fait ce pari un peu fou : créer le nouveau magazine d'actualité scientifique. Un magazine de science, un mensuel, sur papier... au XXI^e siècle? Oui! nous étions convaincus que l'on pouvait inventer une nouvelle façon de raconter le monde à travers la science. Avec *Epsilon*, nous voulions faire de la science non pas un savoir à apprendre, mais une culture à partager. Montrer que la science, ce n'est pas incompréhensible, ou effrayant, mais accessible, éclairant, radical, beau – et même, parfois, drôle.

Deux ans après, nous y croyons toujours – plus que jamais. Nous avons réussi notre pari. Nous avons réuni 35 000 abonnés, 50 000 lecteurs. Nous vous avons raconté 200 histoires, dans 24 numéros et 7 hors-séries. Nous avons reçu la reconnaissance des lecteurs et des scientifiques à travers de nombreux prix. Et, alors que tous les journalistes qui se sont lancés dans cette aventure sont encore là, fidèles au poste, nous nous rapprochons de l'équilibre économique. Un exploit pour un si jeune magazine.

Aujourd'hui, nous voulons aller plus loin, plus haut. Au-delà du mensuel et du hors-série, qui restent notre cœur battant, nous avons envie d'inventer de nouvelles façons de conter nos histoires. Nous voulons vous emmener en voyage dans un lieu différent et singulier, à travers des

lectures plus longues, plus immersives : un « mook » (mi-magazine, mi-livre). Première destination : la Lune! Nous avons aussi envie de raconter nos enquêtes, micro en main, à travers des conférences live. D'envoyer des newsletters hebdomadaires...

Pour assurer notre rentabilité, nous avons besoin de grandir. De décliner l'esprit d'*Epsilon* à travers ces nouvelles activités. De nous faire davantage connaître. De convaincre de nouveaux abonnés. Aujourd'hui, 95 % de nos revenus viennent de vous, les lecteurs. Et nous voulons que cela continue : c'est la garantie de notre indépendance, la garantie de notre qualité.

Voilà pourquoi, deux ans après, nous refaisons le choix du financement participatif.

Si vous êtes abonné, vous pouvez bien sûr aller sur le site d'Ulule pour acheter le mook. Et vous pouvez nous soutenir en parlant d'*Epsilon* à votre famille, vos voisins, vos collègues, votre bibliothèque.

Et si vous ne l'êtes pas, eh bien, abonnez-vous! C'est grâce à vous que nous pourrions continuer à raconter des histoires fiables, sincères et saisissantes. Qu'on se le dise : l'aventure d'*Epsilon* ne fait que commencer...

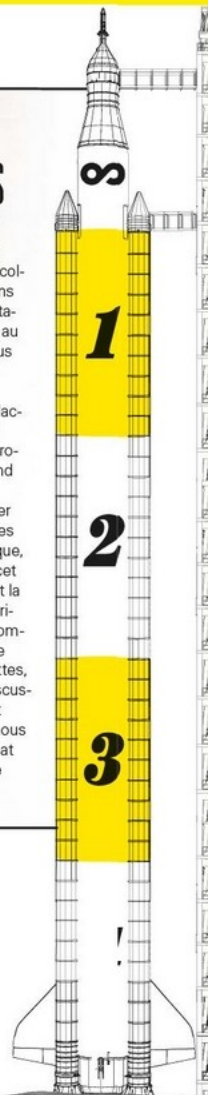


ENVOLEZ-VOUS POUR LA LUNE

À l'heure du tout récent décollage d'Artemis, des missions chinoises, des projets de stations en orbite et de bases au sol, nous proposons de vous emmener en voyage dans la Lune, avec un mook de 200 pages conçu par la rédaction, avec quelques invités – merci Nicolas Martin, Astropierre, Serge Brunier, Roland Lehoucq... L'idée de cet ouvrage est de vous plonger dans cet enfer de poussières et de froid, ce lieu stratégique, mythique, fantasmagique, cet eldorado scientifique qu'est la Lune. À l'heure où nous écrivons ces lignes, le mook commence à prendre forme : de premiers essais de maquettes, de premiers textes, des discussions sur les sujets... C'est un bonheur pour nous de nous essayer à ce nouveau format avec un tel thème. La Lune est inépuisable!



fr.ulule.com/
epsilon-2023/



2 MOIS OFFERTS

epsiloon
nouveau magazine d'actualité scientifique

Abonnez-vous

Le mensuel + le hors-série



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

OU

Le mensuel



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



SUR EPSILOON.COM

ou scannez le QR code ci-dessus



par téléphone

01 87 64 09 62

Du lundi au vendredi de 9 h à 19 h

POUR CE NUMÉRO, EPSILOON A INTERROGÉ

95 scientifiques dans le monde entier

« L'héritage de la mauvaise gestion historique des plastiques polluera la Terre pendant encore des millénaires »

Jeroen Sonke,
biogéochimiste au laboratoire
Géosciences Environnement
(Toulouse)

lire p. 36

« L'idée de trous noirs nés avant le big bang est loin d'être aussi folle qu'elle paraît »

Francesca Vidotto,
physicienne (Canada)

lire p. 58

« Est-ce de la fiction ? Est-ce réel ? Cette tension irrésolue autour de la question des aliens est une brèche naturelle chez Wes Anderson »

Whitney Diley,
professeur de littérature
et cinéma (Taiwan)

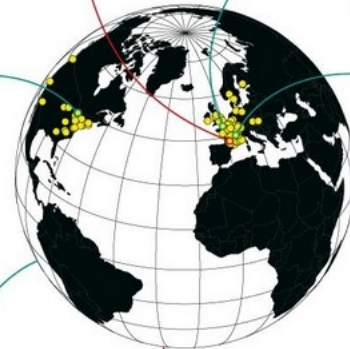
lire p. 88



« Plusieurs contraceptifs masculins sont en développement. On en entend parler depuis des années, sans rien voir arriver »

Lionel Vaudreuil,
chirurgien urologue
(Caen)

lire p. 80



« La rapidité de la cardère sauvage est stupéfiante. Je n'ai jamais vu ça de ma vie chez une plante »

Jean-Claude Caissard,
biologiste (Saint-Étienne)

lire p. 74

« L'ère de l'impression 3D dans la construction intelligente est venue ! »

Liu Tianyun,
chercheur en ingénierie
(Chine)

lire p. 64



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

Dans votre rubrique contre-pied, vous offrez la parole à des personnes ayant une opinion plus ou moins différente du consensus scientifique. Comment distinguez-vous une conception différente, mais valide, d'une contre-vérité scientifique ?

Matthieu Billuart, Bruxelles

Excellente question ! Elle pointe la dynamique singulière de la recherche scientifique, qui oscille entre la stabilisation des consensus et leur remise en cause. Nous nous basons sur la solidité des arguments, la publication dans une revue à comité de lecture, des avis des spécialistes... Bref la qualité de la recherche scientifique. De toutes nos rubriques, c'est assurément celle qui nous demande le plus de travail.

Vous dites que le biochar pourrait satisfaire un quart de l'objectif de séquestration du carbone fixé par le GIEC pour limiter le réchauffement à 2°C d'ici à 2100 [#22, p. 59]. Mais sur la même page, vous faites référence à 33%. Qu'en est-il ? Tiers ou quart ?

Romain Raitano, Annecy

Le 33% est la fourchette haute du scénario le plus ambitieux. Le 25% correspond à un scénario plus réaliste où 10% des déchets végétaux dans le monde sont réorientés vers la production de biochar. Ce qui reste considérable.

Vive « Le goût des sciences » !

Epsilon est heureux de devenir partenaire de ce prix littéraire dédié à des livres de vulgarisation grand public écrits par des scientifiques, organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Il y avait 14 ouvrages sélectionnés dans la catégorie du prix du livre scientifique et 13 dans la catégorie jeunesse. Il ne reste plus que 6 nominés. Qui racontent des histoires de blob, d'extinctions, de fourmis, de langage des oiseaux, de noyau de la Terre et de volcans. Le jury va trancher en juin. Nous vous en reparlerons.

Dans votre labyrinthe sur l'hydrogène [#20, p. 34], vous faites abstraction de sa production à partir de biomasse ligneuse. Même s'il n'y a que de 5 à 6% en masse d'hydrogène dans le bois, on peut pratiquement obtenir de 10 à 11% en masse par gazéification. Et le dioxyde de carbone généré est biogénique, ce qui intéresse beaucoup le marché de l'alimentaire, aujourd'hui trop souvent fourni par du CO₂ fossile.

Patrice Mangin, Bergerac

Je me suis passionné pour votre dossier sur « Homo fictionus », en particulier votre focus sur la fonction narrative du cerveau [#20, p. 42]. En tant que médecin psychiatre, j'ai cependant regretté l'absence de références aux symptômes positifs des troubles psychotiques (délires, hallucinations) parmi les histoires que le cerveau humain peut parfois se raconter...

Andy Paul, Anglet

Vous avez bien raison de le souligner : la capacité de notre cerveau à produire des récits est centrale, aussi, dans certaines pathologies.

Médiévisite, j'ai failli me désabonner en voyant reproduite cette anerie séculaire. Dans votre hors-série sur les super-pouvoirs, vous évaluez à 500000 les sorcières et sorciers brûlés « au Moyen Âge en Europe » [p. 97]. Je n'ai rien à redire sur le chiffre à condition de préciser que 90% ont été brûlés aux XVI^e, XVII^e, voire XVIII^e siècle...

Alain Corbellari, Neuchâtel (Suisse)

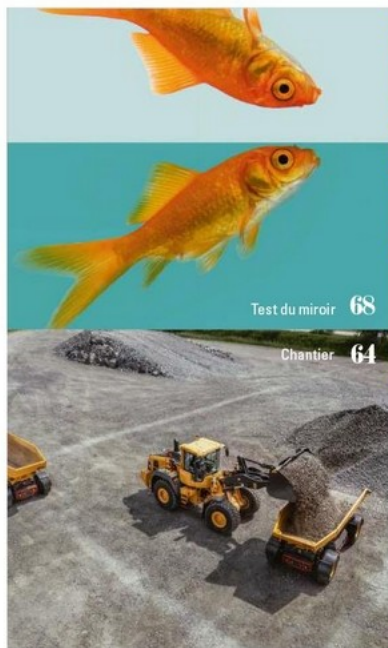
Vous faites l'éloge dans un court article du système d'occultation des hublots du Boeing 787 [#22, p. 21]. Je tenais à signaler que ce procédé de verres polarisants équipait déjà les hublots de la cabine passagers du Mercure, le seul avion de ligne construit par Dassault, mis en service en juin 1971. Ce système fut abandonné car les passagers – les enfants en particulier – passaient trop de temps à tourner le bouton pour observer le filtre passer de la transparence au bleu foncé.

Jean-Louis Larrère, Villard-de-Lans

Rectificatif

Toutes nos excuses à Jean Clairambault que nous avons rattaché à l'Inrae au lieu de l'Inria dans notre article sur la nouvelle théorie du cancer [#23]. Et vous avez été nombreux à vous moquer : le grand cube censé être construit en Arabie saoudite ne fait bien sûr pas 400m³, comme dit p. 76 (il ferait alors moins de 8 m de haut : rien d'exceptionnel), mais 64 millions (et 400 m de haut). Bon sang, il nous faut faire un peu plus attention.





Test du miroir 68

Chantier 64

34 Dossier spécial

74 Cardère sauvage

PLASTIQUE

epsilon

Pour écrire à la rédaction:
epsiloon@uniqueheritage.fr

La rédaction

Yvonne Diraison, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Hervé Poirier (rédaction en chef), Muriel Valin (ad-jointe), Pierre-Yves Bocquet, Florenza Gracci, Valérie Greffoz, Roman Ikonikoff, Alexandra Pihen, Jean-Baptiste Veynieres (rédaction), Anne Riera (édition), Léa Desrayaud (infographie)

Avec : Stéphane Aubin (icono), Hélène Colau, Bruno Levesque (édition), Valérie Samuel (masquette), Xavier Bokinet, Clémentine Laurens, Aline Nippart, Héliose Rambert (rédaction)

SERVICE CLIENT et ABONNEMENT

☎ 33 01 37 64 09 62

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

Courrier: Vivetic - Epsilon
127 rue Charles-Tillon - CS 30021
93308 Aubervilliers Cedex

Toutes nos offres: boutique.epsiloon.com
Abonnement annuel: 59 € (12 n°) ou 82 € (12 n° + 4 hors-séries)

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

Publicité: La Compagnie Media: virginie.houng@compagniemedia.fr, 06 61 11 15 63 - Martine Berla, 06 07 57 17 09 - Marine Weiss, marine@vrcroum-rp.fr, 06 08 96 92 49

Fabrication: Créatoprint,
06 71 72 43 16

Impression: Imayo (53)
Origine du papier: Allemagne
Taux de fibres recyclées: 0%
Eutrophisation
Ptot: 0,017 kg/t
PEFC



Une publication du groupe



Crédits photo: Couverture: Shutterstock; p.12-13: Shutterstock - ESA/S. Conaja - T.Wilkinson/Oxford Univ. - NASA; p. 14-15: A. Burnett - NOAA - Shutterstock - M.Pasek - Getty Images; p.16-17: A.Moretin; p.18-19: J.Yang/Tampere Univ. - J.Looten - J.Kraus/Relativity Space; p.20-21: NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona - J.LePlante/Spout Animation/MIT and Jefferson Lab

GETTY IMAGES - SHUTTERSTOCK - VUVO

12
FIL D'ACTUS

16
EN IMAGES

22
ANALYSE
Climat: l'avion peut-il être propre ?

26
ATLAS
Les milieux humides disparaissent

28
CONTRE-PIED
"En fait, les Vikings ont fui la montée des eaux"

30
LABYRINTHE
Le casse-tête du photovoltaïque

32
C'EST DANS L'AIR
Quand les fusées d'Elon Musk explosent

34
BIG DATA
Voici où se loge le SARS-CoV-2 dans notre corps

DOSSIER SPÉCIAL

PLASTIQUE

Le monde entier tourne au plastique
Une pollution sans équivalent
Une bombe à retardement pour la santé
L'impasse du recyclage
Comment vivre avec ?

58
UNIVERS
Et si des trous noirs avaient pu survivre au big bang

64
ROBOTS
Le premier grand chantier sans humains

68
ANIMAUX
Face au test du miroir

74
AQUACULTURE
Cette plante élève des bactéries!

80
CONTRACEPTION
Pourquoi la pilule masculine n'existe pas



POP SCIENCE

85
FUN FACTS
Anneaux de Saturne, éléphant, patins à glace, bulles, Beethoven, bébé crevette, bière ambrée...

88
CULTURE SCIENCE
Asteroid City de Wes Anderson: la méthode scientifique

90
PROJETS X
Un auditorium qui se love dans le verre; se balle qui se veut futurif; un parking à vélos qui se cache sous l'eau...

94
INSTANT GEEK
Manettes, exosquelette, platine et détecteur de ChatGPT.

96
LIFE
Gens gentils, lève-tôt, petites marches, beaux tableaux, appétit, mauvaises nouvelles...

epsilon & franceinfo:
S'ASSOCIENT
RETROUVEZ LE BILLET SCIENCES
CHAQUE WEEK-END,
À 7 H 21 ET 9 H 21

Juice est partie !

Après un ultime report dû aux conditions météo, la sonde spatiale a décollé à bord d'une fusée Ariane 5. Direction Jupiter et ses lunes glacées. L'insertion en orbite a été parfaite; les panneaux solaires en croix de 27 mètres de long se sont impeccablement tendus. Mais problème: son antenne conçue pour analyser les profondeurs des lunes s'est bloquée. Les ingénieurs de l'ESA se préparent à secouer un peu le vaisseau avec des à-coups de moteurs pour décoincer le mécanisme.

Avant d'être oubliés, nos souvenirs deviennent chaotiques

C'est ce que suggèrent des simulations: enregistrés sous forme de motifs neuronaux, ils deviennent impossibles à prévoir, puis se désintègrent en un bruit de fond. Reste à l'observer dans un vrai cerveau.

Une pandémie sévit chez le blé

Parti du Brésil en 1985, le champignon de la brunissure s'est répandu en Asie et en Afrique. Deux bonnes nouvelles cependant: des analyses génétiques montrent qu'il est sensible à certains fongicides et que le blé possède un gène capable de lui résister. La mauvaise: il pourrait devenir insensible à ces armes en se combinant à des lignées africaines infectant le millet—c'est vérifié en labo. « Il faut le surveiller de près, la situation pourrait vite devenir explosive », s'inquiète le généticien Sergio Latorre.



Le Ghana approuve un vaccin contre le paludisme

Il était parmi les candidats favoris dans notre enquête sur le paludisme, il y a un peu plus d'un an: le R21/Matrix-Ma vient d'être homologué par l'autorité ghanéenne chargée des aliments et des médicaments pour une utilisation chez les enfants de 5 à 36 mois, les plus démunis face au parasite. Les essais font état d'une efficacité de 77%. « Il ne cible qu'une seule souche, pondère l'immunologiste Laurent Rénia. Il protégera pendant quelques saisons, jusqu'à ce qu'une nouvelle sélection de souches lui échappe... »

Un morceau de croûte océanique s'est perdu près du noyau

Ce serait un ancien fond marin qui aurait coulé, à la faveur d'une subduction de plaques, jusqu'à se stabiliser à 3 000 km, à la limite entre le noyau et le manteau. « Ce sont comme des montagnes enfouies, décrit Edward Garnero, qui a participé à la découverte. Parfois plus hautes que l'Everest. »

Découverte d'une des plus vieilles versions des Évangiles

Un témoin rarissime. Cet extrait de l'Évangile de Matthieu révélé par une photographie ultraviolette était caché sous d'autres textes, dans un manuscrit de la Bibliothèque du Vatican. C'est une copie d'une traduction en dialecte araméen qui date du III^e siècle, soit près de cent ans avant la plus vieille traduction grecque connue.

Cette fourmi a deux ADN !

Oui, chez les mâles de la fourmi folle jaune, certaines parties du corps portent l'ADN de leur mère, et d'autres celui de leur père. « Aucun autre organisme n'est capable de faire une telle séparation », s'étonne encore Hugo Darras, de l'université Johannes-Gutenberg, en Allemagne. Et nous ne savons pas encore à quoi ça leur sert. »

Tous les détails de l'odorat des pieuvres

L'évolution a doté la pieuvre d'une merveille: nichés dans les petites ventouses de ses tentacules, une myriade de récepteurs chemo-tactiles lui permettent de sentir le parfum des objets qu'elle caresse. Jusque-là mystérieuses, ces structures uniques s'avèrent en fait d'anciens neuro-récepteurs de la nicotine, recyclés afin de sentir les corps amers et gras. L'absence chez les calmars de cette innovation olfactive explique pourquoi ces derniers se contentent d'attendre leur proie plutôt que d'en flairer la trace.

C'est le sel qui a décoré la Vallée de la Mort

Ou plutôt la convection d'eaux souterraines peu ou très salées, qui finissent par remonter et s'évaporer en surface. Modélisés par Jana Lasser, de l'université technique de Graz, en Autriche, ces mouvements aboutissent bien aux polygones d'un ou deux mètres de large qui ornent la plupart des lits asséchés de lacs salés.

Bientôt une méga-ferme de moustiques contre la dengue

Elle devrait ouvrir au Brésil d'ici à 2024 pour en produire 5 milliards par an. Lâchés dans la nature, ces insectes modifiés grâce à une bactérie sont censés réduire l'incidence de la dengue et d'autres maladies transmises par les piqûres.

Fin du nucléaire en Allemagne

Ça y est. Après 60 ans d'activités, le pays ferme ses trois dernières centrales, qui fournissaient encore 6% de son énergie. Mais elle doit encore conserver ses centrales à charbon (33,3% de la production en 2022, quand même). Au moins jusqu'en 2030...

Un gène bactérien nous a donné la vue

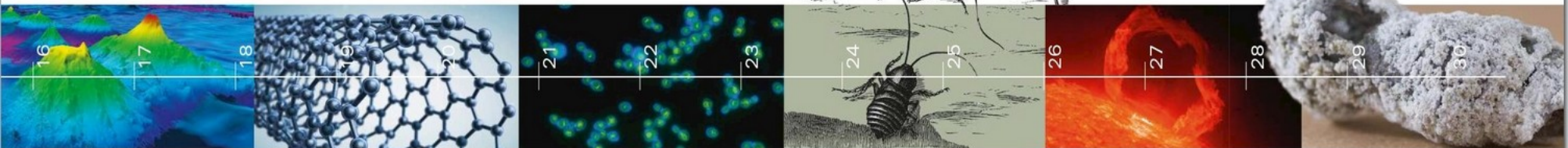
Et nous le partageons avec tous les vertébrés : il aurait été transféré à notre ancêtre commun il y a plus de 500 millions d'années, probablement lors d'une infection. Il ne fabriquait alors qu'une petite enzyme banale servant à cliver des protéines de bactéries. Une fois inséré dans le génome de notre aïeul, ce gène s'est dupliqué à quatre reprises pour former une plus longue protéine... sans laquelle nos yeux seraient semblables à ceux des mouches et incapables de régénérer les pigments de leur rétine.

Les cafards s'adaptent extrêmement bien

En réponse à l'introduction d'appâts sucrés combinés à des insecticides dans les années 1980, de nombreuses femelles ont banni le glucose de leur alimentation : ce sucre stimule désormais un récepteur gustatif de composé amer, particulièrement aversif. Mais cela a perturbé les mâles, dont les cadeaux sucrés, « lors de la parade nuptiale, ont perdu en efficacité » décrit Coby Schal. Les voilà qui s'adaptent donc à leur tour : l'entomologiste a constaté une diminution de la teneur en glucose de leurs pré-sents. La nature est décidément redoutable...

Les drogues circulaient déjà en Europe il y a 3 500 ans

Les archéologues le suspectaient. Une preuve directe l'atteste : une équipe espagnole a détecté des traces de substances hallucinogènes d'origine végétale dans des cheveux déposés dans des boîtes, au fond d'une grotte funéraire de Minorque, aux Baléares.



19 000 volcans sous-marins identifiés

19325 exactement. Grâce à de nouvelles données radar haute résolution par satellite, qui mesurent l'infime courbure de la surface de l'océan pour en déduire le relief sous-marin, une équipe d'océanographes internationale publie une nouvelle carte du plancher océanique, doublant presque le nombre de montagnes sous-marines connues. Et ce n'est que le début, nous vous en parlions il y a 2 ans : avec le programme international Seabed 2030, l'objectif est d'avoir cartographié la totalité des fonds marins d'ici à dix ans – on n'en connaît pour l'instant que 25%.

Encore un nouveau pouvoir du graphène

20 ans après sa découverte, cet as de la solidité, de la souplesse et de la conductivité révèle une ultrarésistance quand il est plongé dans un champ magnétique : 100 fois plus grande que celle de n'importe quel autre matériau à température ambiante. De nouveaux capteurs magnétiques en vue ?

Une levure mange de la lumière

C'est un peu comme si on avait transformé un animal en plante. À ceci près qu'il s'agit d'une simple levure de boulanger génétiquement modifiée. Et que le mécanisme est une variante plus simple de la photosynthèse : il repose sur une protéine empruntée à des bactéries, qui permet à la levure de croître plus vite sous une lumière verte. Très impressionnant...

Premier embryon artificiel de singe implanté in utero

En partant de cellules souches de macaque, une équipe chinoise a reproduit in vitro sa première semaine de gestation, puis son développement dans l'utérus de 3 femelles durant un semaine de plus. Une prouesse qui interroge : peut-on faire subir à nos cousins une grossesse artificielle que l'on s'interdit à nous-mêmes ?

On a fabriqué un nouvel isotope de l'uranium

Il porte le numéro 241. C'est le grand frère de l'uranium 238, le plus abondant sur Terre, et de l'uranium 235, utilisé dans les réacteurs nucléaires. Des physiciens l'ont fabriqué avec l'instrument KISS, en bombardant du platine avec de l'uranium 238. « C'est la première découverte d'un uranium riche en neutrons depuis 40 ans, se réjouit Toshitaka Niwase, qui a mené l'expérience. Il n'aura pas d'utilité commerciale, car sa durée de vie est trop courte, mais notre méthode ouvre une nouvelle porte vers la compréhension de l'origine des éléments. »

Les éruptions solaires sont fractales

C'est ce que confirment les modèles : ces boucles de gaz brûlant, qui frôlent parfois les 100 kilomètres de section, sont tissées de fines éjections de plasma de 10 à 100 m de large, qui forment des tresses, de tresses, de tresses... à de multiples échelles.

Seule la foudre réussit à créer ce minéral

Les passants qui ont ramassé ce caillou de 7 cm juste après un éclair ont eu du flair, les chercheurs ont été incapables de le recréer en laboratoire. C'est un assemblage de phosphore, de calcium et d'hydrogène qui pourrait même correspondre à une nouvelle famille minérale.

Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/sources

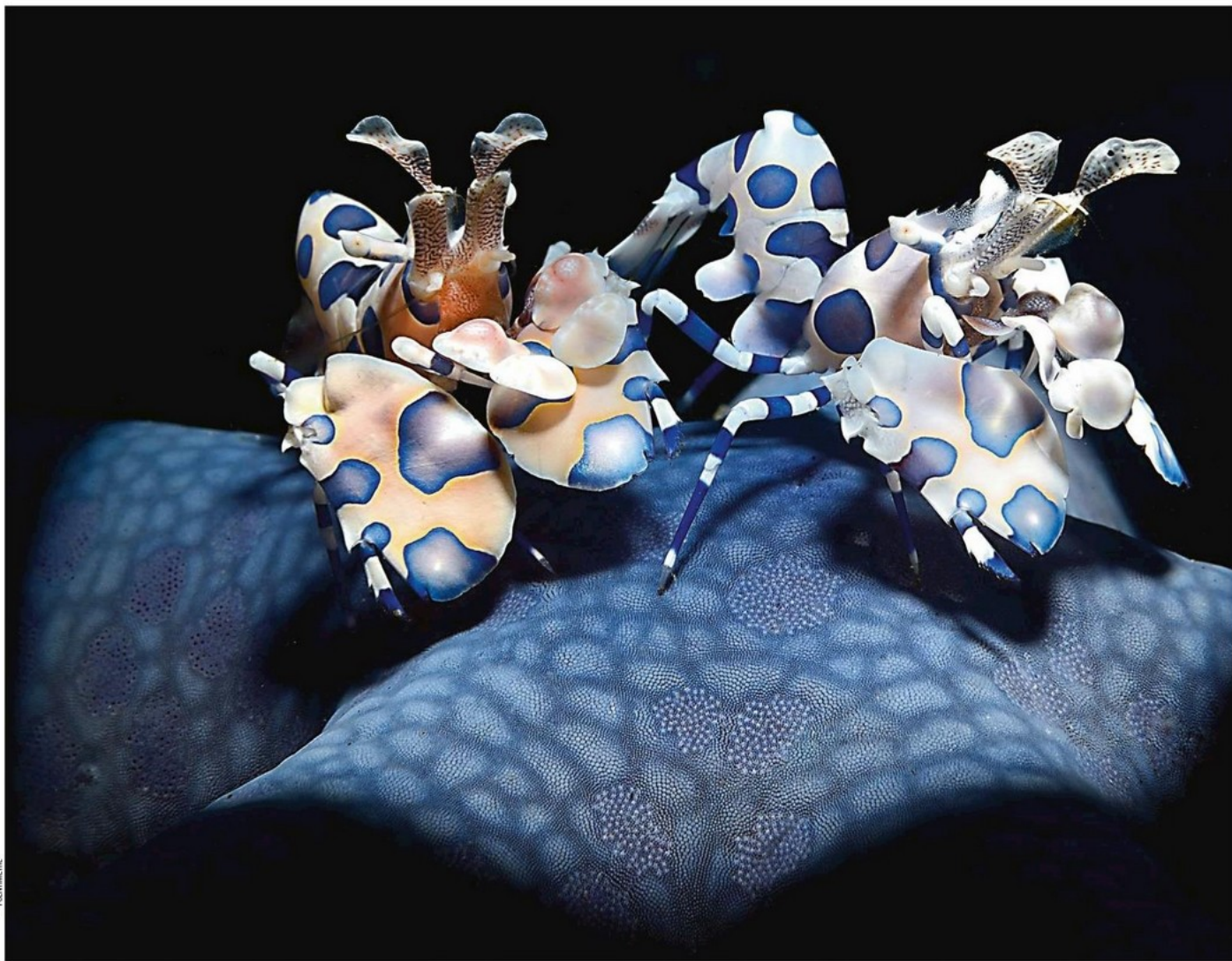
En images

Le festin

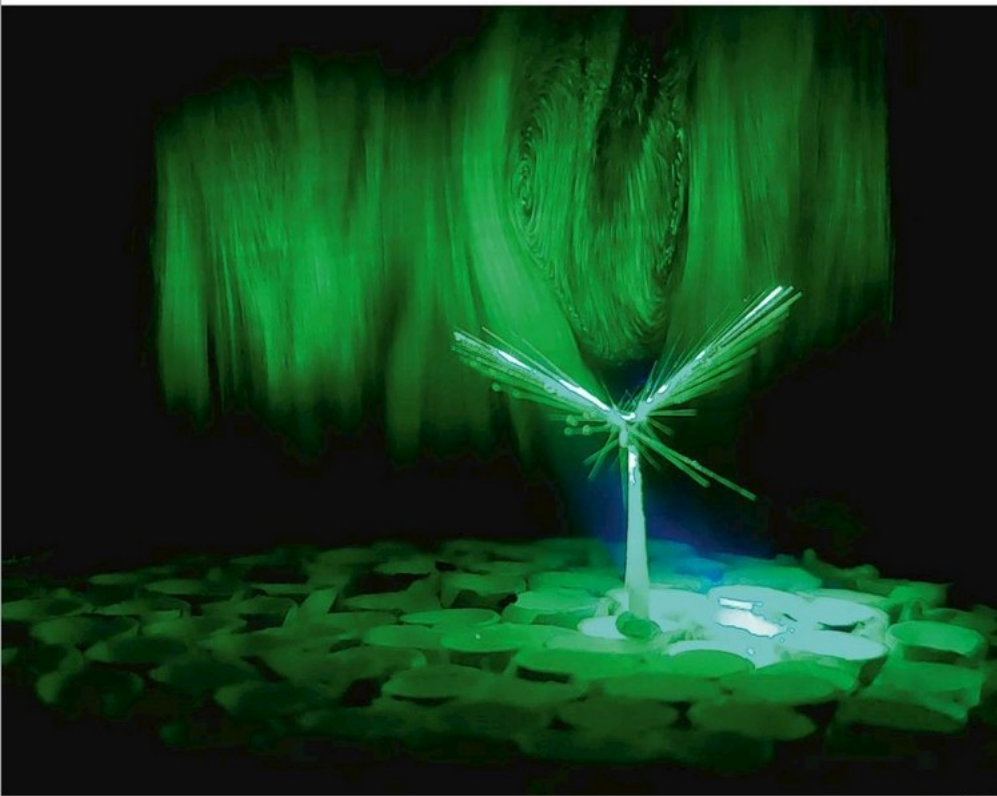
C'est en plongeant dans le détroit de Lembeh, en Indonésie, que le photographe italien Adriano Morettin est tombé sur ces deux crevettes arlequins en train d'arracher un par un des petits morceaux d'une étoile de mer bleue, et de les manger lentement.

« Leur corps fait à peine 5 cm de long et elles se déplacent continuellement, ce qui les rend très difficile à saisir », raconte le photographe. Il lui a fallu trente minutes de plongée et une cinquantaine de tentatives avec un flash bien dirigé pour obtenir ce troublant résultat. **M.V.**

1 CENTIMÈTRE



En images



0,25 CENTIMÈTRE

Voltigeuse

Cette graine artificielle n'a besoin que de lumière et d'air pour voler. Inspirée du pissenlit, elle a été fabriquée avec un plumet de poils souples, relié à un matériau photosensible qui se courbe à la lumière. « *Les poils s'épanouissent pour permettre à la graine de s'envoler, même par vent très faible* », décrit son concepteur Hao Zeng. Et les tourbillons générés par le plumet, visibles sur l'image réalisée en soufflerie, garantissent un vol très stable. Un premier pas vers la pollinisation artificielle? **A.P.**

Chimie céleste

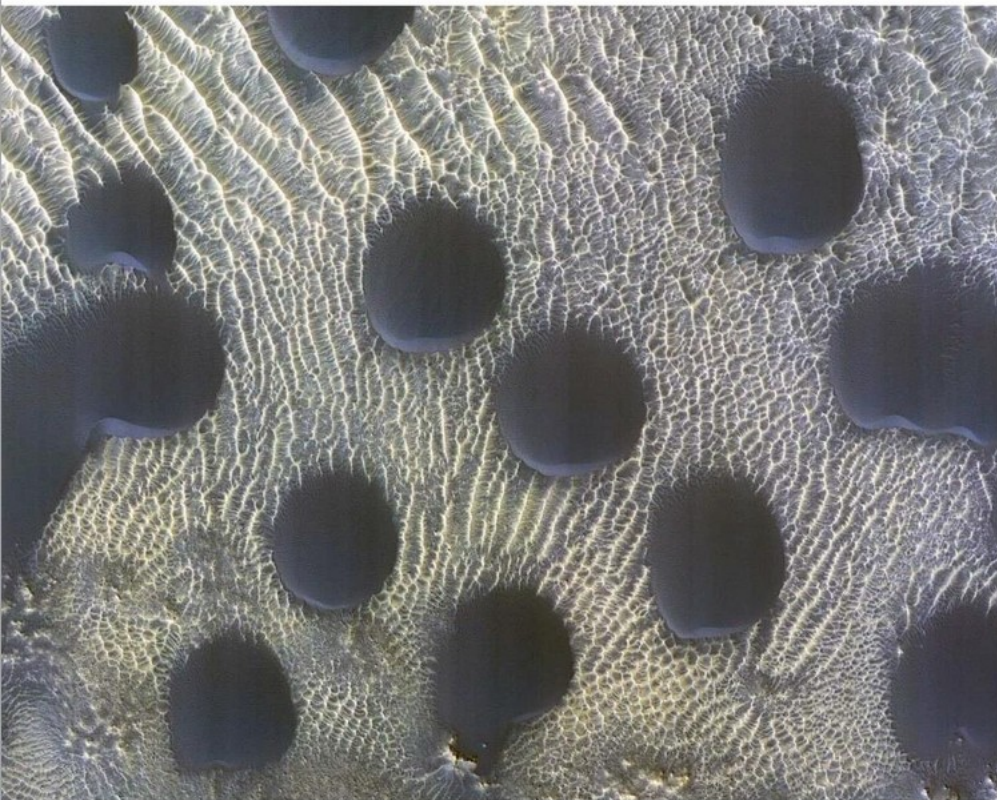
Il voulait seulement photographier la Voie lactée au-dessus du château de Losse, en Dordogne. Le 21 janvier dernier, l'astrophotographe amateur Julien Looten a saisi en plus un « airglow » : « *C'est un phénomène rare. Ce soir-là, il présentait une intensité et des ondulations incroyables.* » Résultats de réactions chimiques entre les molécules de la haute atmosphère et les rayons ultraviolets du Soleil, ces halos lumineux ne surgissent que dans un ciel « *particulièrement pur* ». **M.V.**



3. 2. 1. Go !

Le 23 mars dernier, ces neuf moteurs brûlant un mélange d'oxygène et de méthane liquide ont réussi à faire s'élever la fusée Terran jusqu'à 100 km d'altitude au-dessus de Cap Canaveral, en Floride. Un succès pour Relativity Space, la société américaine qui l'a développée, même si sa mise en orbite a buté sur un problème survenu au second étage. Fabriqué à partir d'un alliage d'aluminium en deux mois, ce prototype de 2,30 mètres a été quasi entièrement conçu (à 85%) grâce à une imprimante 3D. **v.a.**

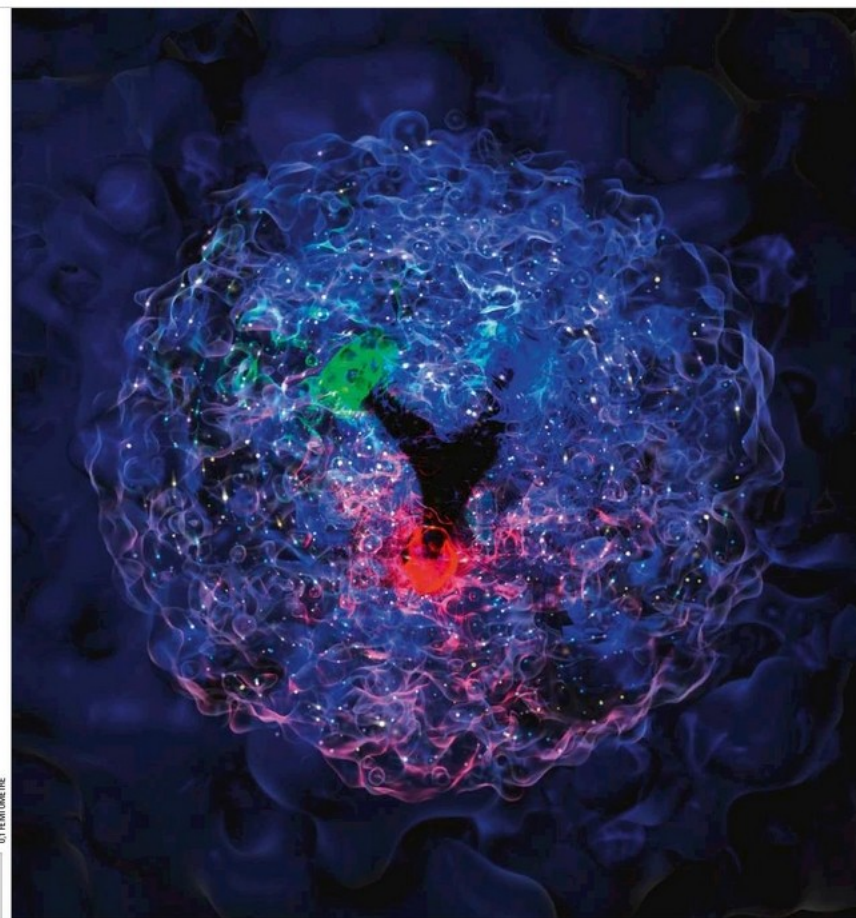
En images



100 MÈTRES

Trompe l'œil

On dirait des trous, mais ce sont des dunes de roches volcaniques d'une quinzaine de mètres de haut, sculptées par les vents martiens. « *À mi-chemin entre le dôme et le croissant, leur forme est différente de ce qu'on voit sur Terre* » observe Matthew Chojnacki, du Planetary Science Institute de Tucson, qui a étudié ce cliché de la sonde américaine MRO. « *D'après leur pente, elles se déplacent vers le sud. Si leur sable n'est pas renouvelé régulièrement, elles finiront par disparaître.* » **V.O.**



01 FEMTOMÈTRE

Au cœur du proton

C'est à une plongée inédite dans la structure interne du proton, que nous invite cette modélisation réalisée par des physiciens du MIT, du Jefferson Lab et des artistes. La particule expose ses trois quarks, deux up et un down –représentés ici en rouge, vert et bleu–, qui interagissent en permanence et de façon chaotique en échangeant des gluons, dont on devine l'influence à travers la zone sombre en forme de Y. **A.P.**

CLIMAT

L'avion peut-il être propre ?

Non, l'humanité n'a pas arrêté de prendre l'avion. Trois ans après la pause forcée due au Covid, l'activité aérienne a retrouvé son niveau et sa dynamique d'avant l'épidémie. Sauf que le secteur s'est engagé à atteindre zéro émission en 2050... Possible? Nous avons posé la question aux experts.

PAR PIERRE-YVES BOCQUET – ILLUSTRATIONS RÉALISÉES PAR DAVI AGUSTO, COLAGENE.COM

Après avoir été le symbole de la liberté, l'avion est devenu synonyme de culpabilité. Un statut qui peut d'ailleurs paraître disproportionné, sachant qu'il n'est responsable que de 2,4% des émissions de CO₂ dues aux humains. Sauf que de tous les modes de transport, c'est le plus émetteur par passager. « C'est aussi celui qui croît le plus vite, et ça va continuer. C'est cela qui nous inquiète », résume Paulina Jaramillo, chercheuse à l'université Carnegie Mellon et principale auteure de la dernière synthèse des connaissances scientifiques sur les transports, publiée par le GIEC en 2022. Le secteur aérien promet pourtant qu'il a pris la mesure du problème. Fin 2022, compagnies,

constructeurs et aéroports se sont fixé l'objectif « zéro émission nette de carbone » d'ici à 2050 : chaque molécule de CO₂ relâchée dans l'atmosphère devra y avoir été prélevée avant, ou l'être après, pour assurer la neutralité. Un vrai défi.

NOUVELLE FEUILLE DE ROUTE
« Depuis les années 1970, les progrès techniques ont déjà permis d'abaisser de 80% les émissions par passager, afin de réduire la facture de carburant des compagnies aériennes. Avec ce nouvel objectif, il va falloir faire deux fois plus en seulement quinze ans, prévient Éric Dalbiès, directeur de la stratégie, de la R&T et de l'innovation chez l'équipementier et motoriste

aéronautique Safran. C'est historique! On ne peut plus se contenter d'améliorations incrémentales, il faut des technologies de rupture. »

Avec une difficulté majeure : contrairement aux voitures, ici, le salut ne viendra pas de la propulsion électrique.

« Même avec les progrès attendus sur les batteries, la densité d'énergie par unité de masse est trop faible, on ne pourra embarquer qu'un nombre de passagers réduit, sur des trajets très courts, estime Philippe Novelli, directeur Propulsion aéronautique et environnement à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales. « Pour les avions plus gros, l'électricité permettra au mieux d'assurer les

déplacements sur la piste », assure Alain De Zotti, directeur de l'architecture des avions civils chez Airbus.

C'est pourquoi, sur la feuille de route qu'il s'est fixée, le secteur aérien prévoit que l'essentiel de sa décarbonation, les deux tiers environ, proviendra de l'utilisation de « carburants liquides à bas carbone » : ils seront produits soit à partir de biomasse (huiles végétales usagées, déchets organiques, plantes...), soit par synthèse chimique, en faisant réagir de l'hydrogène issu de

l'électrolyse de l'eau et du CO₂ capté dans l'atmosphère ou dans l'industrie. L'avantage étant que dans les deux cas, le CO₂ rejeté a au préalable été prélevé pour fabriquer le carburant. Et aussi que ces fuels sont très proches chimiquement du kérosène fossile – sept formules sont déjà homologuées et peuvent être utilisées en mélange, à hauteur maximale de 50%. Ils pourraient donc décarboner tous les avions, y compris les plus vieux, sans qu'il soit nécessaire de les modifier.

L'impact carbone de l'aviation s'alourdit

2,4%

C'est la part de l'aviation dans les émissions mondiales de CO₂ dues à l'activité humaine

+3 à 4%

Ce sont les prévisions de **progression annuelle moyenne** de l'aérien dans les dix à vingt ans à venir

x2,5

C'est l'augmentation prévue des émissions **de CO₂ de l'aviation mondiale** d'ici à 2050 si rien n'est fait.

Oui, sauf que les chercheurs restent plus que réservés sur ces carburants durables. Leur bilan carbone réel est discuté – il s'alourdit par exemple quand le CO₂ du transport ou des engins agricoles utilisés pour les produire est pris en compte. Les matières premières indispensables à leur fabrication posent aussi problème : aucune ne sera disponible en assez grande quantité. Le risque est de voir des sols et de l'eau accaparés au détriment de l'alimentation... Mais les experts pointent surtout que le prix de ces « fuels verts » ne pourra jamais égaler celui du kérosène, même si on les produisait en grande quantité. Ils ont fait les calculs : « Comme le kérosène n'est pas taxé, il sera toujours trois à quatre fois

CLIMAT

L'avion peut-il être propre ?

Non, l'humanité n'a pas arrêté de prendre l'avion. Trois ans après la pause forcée due au Covid, l'activité aérienne a retrouvé son niveau et sa dynamique d'avant l'épidémie. Sauf que le secteur s'est engagé à atteindre zéro émission en 2050... Possible? Nous avons posé la question aux experts.

PAR PIERRE-YVES BOCQUET – ILLUSTRATIONS RÉALISÉES PAR DAVI AGUSTO, COLAGENE.COM

Après avoir été le symbole de la liberté, l'avion est devenu synonyme de culpabilité. Un statut qui peut d'ailleurs paraître disproportionné, sachant qu'il n'est responsable que de 2,4% des émissions de CO₂ dues aux humains. Sauf que de tous les modes de transport, c'est le plus émetteur par passager. « C'est aussi celui qui croît le plus vite, et ça va continuer. C'est cela qui nous inquiète », résume Paulina Jaramillo, chercheuse à l'université Carnegie Mellon et principale auteure de la dernière synthèse des connaissances scientifiques sur les transports, publiée par le GIEC en 2022. Le secteur aérien promet pourtant qu'il a pris la mesure du problème. Fin 2022, compagnies,

constructeurs et aéroports se sont fixé l'objectif « zéro émission nette de carbone » d'ici à 2050 : chaque molécule de CO₂ relâchée dans l'atmosphère devra y avoir été prélevée avant, ou l'être après, pour assurer la neutralité. Un vrai défi.

NOUVELLE FEUILLE DE ROUTE
« Depuis les années 1970, les progrès techniques ont déjà permis d'abaisser de 80% les émissions par passager, afin de réduire la facture de carburant des compagnies aériennes. Avec ce nouvel objectif, il va falloir faire deux fois plus en seulement quinze ans, prévient Éric Dalbiès, directeur de la stratégie, de la R&T et de l'innovation chez l'équipementier et motoriste

aéronautique Safran. C'est historique! On ne peut plus se contenter d'améliorations incrémentales, il faut des technologies de rupture. »

Avec une difficulté majeure : contrairement aux voitures, ici, le salut ne viendra pas de la propulsion électrique.

« Même avec les progrès attendus sur les batteries, la densité d'énergie par unité de masse est trop faible, on ne pourra embarquer qu'un nombre de passagers réduit, sur des trajets très courts, estime Philippe Novelli, directeur Propulsion aéronautique et environnement à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales. « Pour les avions plus gros, l'électricité permettra au mieux d'assurer les

déplacements sur la piste », assure Alain De Zotti, directeur de l'architecture des avions civils chez Airbus.

C'est pourquoi, sur la feuille de route qu'il s'est fixée, le secteur aérien prévoit que l'essentiel de sa décarbonation, les deux tiers environ, proviendra de l'utilisation de « carburants liquides à bas carbone » : ils seront produits soit à partir de biomasse (huiles végétales usagées, déchets organiques, plantes...), soit par synthèse chimique, en faisant réagir de l'hydrogène issu de

l'électrolyse de l'eau et du CO₂ capté dans l'atmosphère ou dans l'industrie. L'avantage étant que dans les deux cas, le CO₂ rejeté a au préalable été prélevé pour fabriquer le carburant. Et aussi que ces fuels sont très proches chimiquement du kérosène fossile – sept formules sont déjà homologuées et peuvent être utilisées en mélange, à hauteur maximale de 50%. Ils pourraient donc décarboner tous les avions, y compris les plus vieux, sans qu'il soit nécessaire de les modifier.

L'impact carbone de l'aviation s'alourdit

2,4%

C'est la part de l'aviation dans les émissions mondiales de CO₂ dues à l'activité humaine

+3 à 4%

Ce sont les prévisions de **progression annuelle moyenne** de l'aérien dans les dix à vingt ans à venir

x2,5

C'est l'augmentation prévue des émissions **de CO₂ de l'aviation mondiale** d'ici à 2050 si rien n'est fait.

Oui, sauf que les chercheurs restent plus que réservés sur ces carburants durables. Leur bilan carbone réel est discuté – il s'alourdit par exemple quand le CO₂ du transport ou des engins agricoles utilisés pour les produire est pris en compte. Les matières premières indispensables à leur fabrication posent aussi problème : aucune ne sera disponible en assez grande quantité. Le risque est de voir des sols et de l'eau accaparés au détriment de l'alimentation... Mais les experts pointent surtout que le prix de ces « fuels verts » ne pourra jamais égaler celui du kérosène, même si on les produisait en grande quantité. Ils ont fait les calculs : « Comme le kérosène n'est pas taxé, il sera toujours trois à quatre fois

Analyse

moins cher que du biofuel ou du fuel de synthèse, bien plus difficiles à produire», estime Jerry Murphy, directeur du MaREL, un laboratoire de recherche sur l'énergie et le climat de l'University College Cork, qui a récemment publié une étude comparative sur le sujet.

MISER SUR LA SOBRIÉTÉ

Car il faut rappeler que l'aviation internationale bénéficie d'une exonération fiscale assez unique sur les carburants –seul le transport maritime est logé à la même enseigne. «Il fallait trouver une harmonisation entre les pays. Et la fiscalité la plus simple, c'est de ne pas en avoir du tout...», déclare Cédric Philibert, chercheur associé à l'Institut français des relations internationales et ancien de l'Agence internationale de l'énergie. Les conclusions du GIEC sont sans appel: il faudra activer le levier fiscal si on souhaite que les avions carburent vert. Et investir dans une mutation industrielle d'ampleur. Des études pointent que pour éliminer ne serait-ce que 50% des émissions de CO₂ avec des biocarburants en 2050, il faudrait dépenser de 22 à 88 milliards de dollars par an pour construire des bioraffineries.

D'où l'urgence, pour les aviateurs, de plancher en parallèle sur la sobriété des appareils afin de réduire leur consommation. Selon leurs estimations, il est encore possible d'améliorer l'aérodynamisme en augmentant l'envergure des ailes, pour réduire la traînée, par exemple. Ou de pousser plus loin l'allègement grâce aux composites ou à l'impression 3D.

Carbone ou pollution, l'éternel dilemme

Une vraie malédiction. La décarbonation de l'aviation passe souvent par l'augmentation d'autres nuisances: le bruit, les émissions de particules ou d'oxydes d'azote (NOx), néfastes pour la santé et le climat. Enlever le carénage des moteurs améliore leur rendement... mais aggrave le bruit. Et relever leur température de combustion réduit le CO₂... mais augmente les NOx. Y a-t-il un bon compromis? Le dernier rapport du GIEC le reconnaît: la science ne sait pas encore s'il est plus intéressant de réduire l'un ou l'autre.

Sans oublier la propulsion. «Pour les avions court et moyen-courriers, nous travaillons sur une nouvelle génération de moteurs de diamètre deux fois plus grand, sans carénage, hybridés, et dotés de raffinements techniques qui leur permettraient de consommer près de 20% de carburant en moins», égrène Éric Dalbiès. Ces moteurs de rupture pourraient entrer en service vers 2035. Le secteur évalue que mises bout à bout, et

Comme le kérosène n'est pas taxé, il sera toujours moins cher que le biofuel

Jerry Murphy, directeur du MaREL

ajoutées à l'optimisation de la gestion du trafic pour minimiser les temps de vol, ces diverses innovations permettront d'éliminer près de 30% de leurs émissions de CO₂. Le recours aux carburants durables fera le reste.

DES EXPERTS DUBITATIFS

Et si cela ne suffit pas, l'aviation se réserve un dernier joker: la possibilité pour les compagnies d'avoir recours à un service de compensation carbone, Corsia, qui vient d'être mis en place par l'Organisation de l'aviation civile internationale. En clair: financer des projets comme la reforestation ou le stockage de carbone, pour compenser

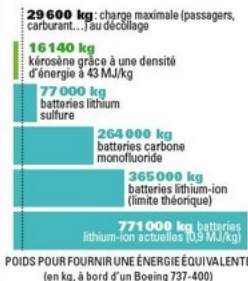


les émissions qui n'auraient pas été supprimées en 2050. Mais là encore, les scientifiques sont dubitatifs. «Cela pose des questions de fond sur l'intégrité et l'efficacité des approches», rappelle Valérie Masson-Delmotte, climatologue et responsable d'un groupe du GIEC. On le sait, rien ne garantit aujourd'hui que ces compensations sont vraiment efficaces: aucune certification, aucun contrôle indépendant n'a été mis en place...

Reste l'espoir, à plus long terme, de carburer à l'hydrogène. De quoi éliminer totalement le carbone de l'équation, si l'on parvient à produire ce gaz avec de l'énergie décarbonée, et non à partir de méthane, comme c'est le cas aujourd'hui. Certains aviateurs y croient, Airbus en tête: «Nous pensons que l'industrie chimique, qui a elle aussi besoin d'hydrogène, ira dans ce sens, et que nous en bénéficierons», confie Alain De Zotti. L'hydrogène pourrait produire assez d'électricité pour propulser des petits avions, mais surtout remplacer directement le carburant. Sauf que les adaptations techniques nécessaires

Les batteries ne sont pas assez puissantes

Alors que le poids et le volume sont des problématiques ultrasensibles pour les avions, la densité énergétique des carburants semble absolument inégalable.



SOURCES: STANFORD UNIVERSITY; IPCC (2022); D. S. LEE ET AL., ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 2021

de l'une autre ampleur que pour les biofuels –non seulement sur les moteurs, mais aussi sur les appareils. Même liquéfié à -253°C, ce gaz occupe en effet trois à quatre fois plus de volume que

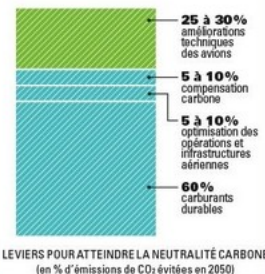
Aucune solution n'est mûre, l'avion est un des transports les plus difficiles à décarboner

Paulina Jaramillo, chercheuse à l'université Carnegie Mellon

le fuel: impossible de le stocker dans les ailes, comme aujourd'hui. Il faudrait imaginer de nouvelles architectures pour intégrer d'énormes réservoirs dans le fuselage. Sans oublier la question de la sécurité: l'hydrogène est hautement volatil et inflammable.

Les améliorations techniques ne suffiront pas

Cumuler chasse au poids, aérodynamisme et nouvelle génération de moteurs permettra d'économiser que 1,3% de CO₂ par an. Ce n'est pas assez rapide.



On sous-estime l'impact de l'aviation sur le climat

Les traînées de condensation sont moins persistantes (quelques jours) que le CO₂ (quelques siècles), mais leur bilan est loin d'être négligeable.



FORÇAGE RADIATIF EFFECTIF DE L'AVIATION (par facteur, en mW/m²)



«Si l'on prend en compte ces effets, cela rend l'aviation responsable de 3,5% de

l'impact de l'humain sur le climat», calcule Agnieszka Skowron, spécialiste du sujet à la Manchester Metropolitan University. «On pourrait imaginer que les avions détectent les zones humides à risque et modifient leur trajectoire pour les éviter», avance Alain De Zotti. «Mais si on consomme plus de carburant, est-ce que ça vaut le coup?», s'interroge Nicolas Bellouin.

«Aucune solution ne semble vraiment mûre ou compétitive, c'est pourquoi nous considérons l'aviation comme l'un des modes de transport les plus difficiles à décarboner», résume Paulina Jaramillo. Zéro émission nette de carbone d'ici à 2050? Le secteur veut y croire...

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

Les milieux humides disparaissent

On trouve toujours une bonne raison pour les assécher : que ce soit pour créer une zone agricole, contrôler les infestations par les moustiques ou extraire l'énergie de la tourbe... Avec de lourdes conséquences sur l'eau, le carbone et la biodiversité.

PAR LÉA DESRAYAUD
SOURCE: ETIENNE FLUET-CHOUINARD ET AL., NATURE, FÉVRIER 2023

12,4
millions
de km²

C'est la surface actuelle couverte par des zones humides, dont près de **3 millions** en Russie, **2 millions** au Canada et **1** aux États-Unis.

21%

3,4 millions de km² ont été détruits depuis 1700, l'équivalent de la superficie de l'Inde.

84%

des zones humides disparues ont été transformées en cultures agricoles. Les autres facteurs de changement sont l'urbanisation (8%), l'exploitation forestière (5%), le pâturage (2%) et l'extraction de la tourbe (1%).

792

millions de tonnes de tourbe sèche ont été collectées depuis 1700 pour être utilisées comme carburant ou engrais.

Inaccessibles et isolés, les marais du cœur de l'**Amazonie** sont épargnés. Mais l'expansion de barrages hydroélectriques pourrait mettre en péril ces écosystèmes.

Patate douce, canne à sucre, chou, manioc, igname... poussent les pieds dans l'eau en **Angola**. Les zones humides, transformées en cultures submersibles, persistent donc partiellement.

Les **États-Unis** ont asséché 40% de leurs zones humides pour les transformer en terres agricoles productives, en zones urbaines et pour lutter contre le paludisme.

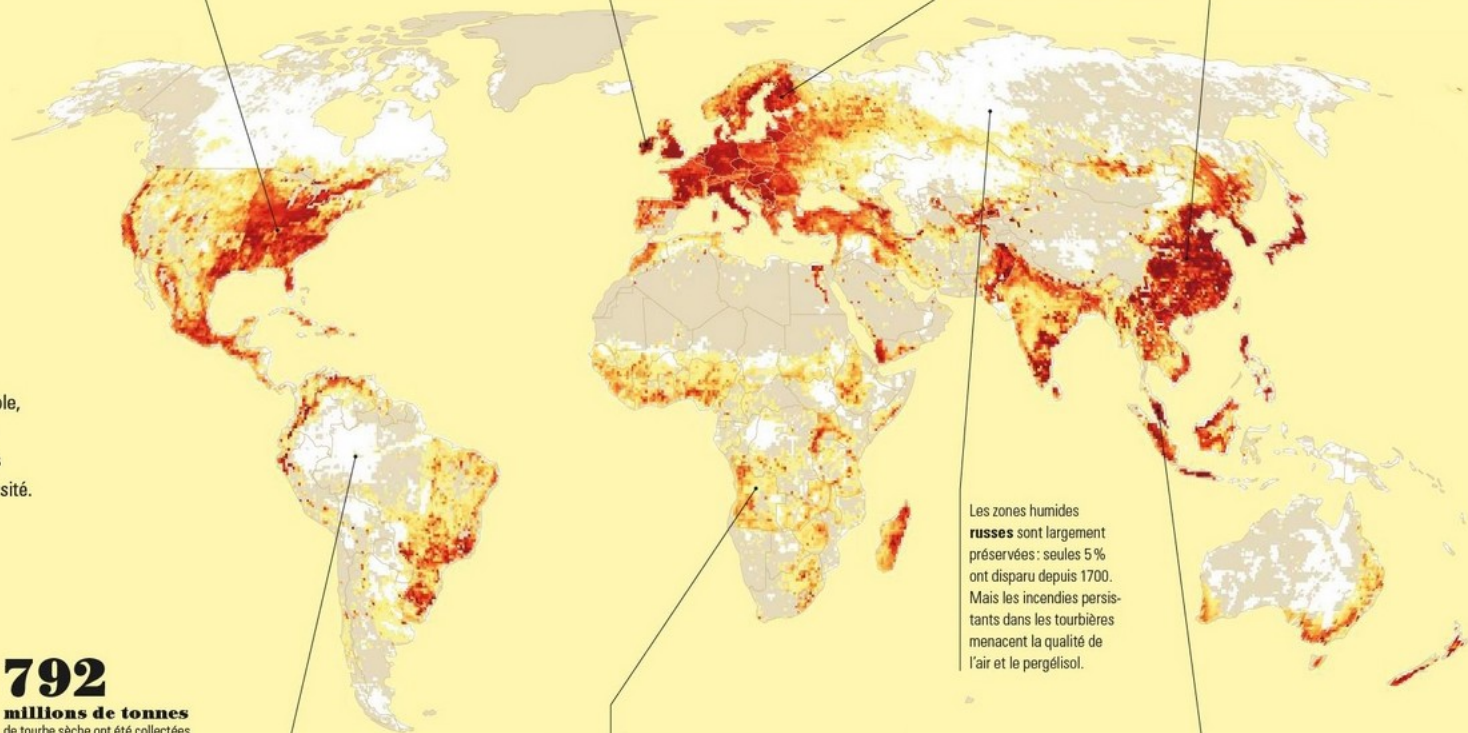
91% des zones humides ont été détruites en **Irlande**, un record mondial. La première cause en revient à l'exploitation massive de la tourbe comme carburant, et à leur conversion en terres agricoles ou en pâturages.

En **Finlande**, c'est l'exploitation forestière qui est la première cause de destructions de zones humides : ont déjà disparu près de 60 000 km², l'équivalent de deux fois la Belgique.

La moitié des zones humides de la **Chine** ont été perdues, essentiellement converties en rizières dès le milieu du XIX^e siècle. Le pays concentre à lui seul un huitième des marais disparus dans le monde.

Les zones humides **russe**s sont largement préservées : seules 5% ont disparu depuis 1700. Mais les incendies persistants dans les tourbières menacent la qualité de l'air et le pergélisol.

Zones humides disparues, part détruite en % par rapport à la surface couverte en 1700



LES CONDITIONS MÉTÉO SEMBLAIENT LA PRINCIPALE CAUSE

1995

Des géologues pointent le petit âge glaciaire, qui a prévalu dès 1350 au Groenland, comme raison du départ des Vikings.

1998

La géographe physicienne danoise Hanne Christiansen apporte les preuves de la multiplication des tempêtes à cette époque.

2016

Selon des biologistes, le manque de vitamine D, dû à un faible rayonnement UV à ces latitudes, a aussi joué un rôle dans la diminution de ces populations.

2022

Des géoscientifiques de l'université du Massachusetts mettent en cause des sécheresses prolongées dans le sud du Groenland.

Une lettre relative à un mariage célébré à l'église de Hvalsey en l'an 1408, une datation au radiocarbone datant d'environ 1450... Telles sont les minces et ultimes preuves de la présence des Vikings au Groenland avant leur disparition soudaine, au terme de plus de quatre siècles de colonisation. Pourquoi sont-ils partis? Parmi les nombreuses hypothèses évoquées, celle de la détérioration du climat, liée au petit âge glaciaire qui a sévi à partir de la moitié du XIII^e s., prévaut. Mais pour Marisa Borreggine, l'histoire est plus subtile.

Le petit âge glaciaire n'a donc rien à voir avec le départ des Vikings du Groenland?

Si, mais indirectement. En tout cas, le climat plus froid et orageux du petit âge glaciaire ne leur a pas forcément rendu la vie plus difficile. D'ailleurs, le Groenland n'a probablement pas connu ces événements climatiques de manière uniforme... En revanche, cette période qui s'étale d'environ 1250 à 1900 s'est accompagnée d'une résurgence des grandes nappes de glace mondiales. Or la géomorphologie glaciaire et les recherches sur le paléoclimat suggèrent que le glacier continental du sud du Groenland a grossi pendant l'occupation viking, pour atteindre son apogée au cours de cette période. De quoi engendrer des effets locaux sur le niveau de la mer.

Jusqu'à pousser les Vikings à quitter leurs terres côtières du sud-ouest?

Tout à fait. De manière contre-intuitive par rapport à notre changement climatique actuel, la croissance de la calotte glaciaire a provoqué une élévation du niveau de la mer à proximité des terres. Nous avons modélisé l'évolution de ce phénomène entre 1000 et 1450 au niveau de la colonie orientale. La montée des eaux a atteint 3,3 mètres au cours de cette période! Et c'est certainement le facteur le plus déterminant du départ des Vikings.

Mais comment expliquer une telle élévation locale des eaux?

Il y a deux raisons. D'abord, l'augmentation de la masse de ce vaste glacier continental. L'inlandsis a entraîné un affaissement du sol sous la glace et à proximité, faisant remonter le niveau de la mer. Ensuite, tout comme la Lune exerce une attraction gravitationnelle sur l'océan, une énorme couche de glace exerce une attraction gravitationnelle sur la surface de la mer proche. Cette attraction a augmenté au fur et à mesure de l'accumulation de la glace continentale. La surface de



En fait, les Vikings ont fui la montée des eaux

Marisa Borreggine

Ses travaux menés à Harvard combinent sciences de la Terre et archéologie pour tenter de percer le mystère de la disparition de cette population du Groenland.

la mer s'est alors inclinée vers le haut, en direction des terres, entraînant une élévation de son niveau dans un rayon de 2000 km. Cet effet, combiné à la tendance mondiale de la montée des eaux depuis le dernier maximum glaciaire, qui représente environ un quart de l'élévation, a provoqué des inondations généralisées le long des côtes groenlandaises de la colonie orientale. Et entraîné un recul du littoral de plusieurs centaines de mètres.

Avec quelles conséquences pour les Vikings?

Entre les années 1000 et 1450, les colonies vikings ont perdu 204 km² de terres. Les inondations étaient

omniprésentes et ont dû forcer à abandonner de nombreux sites côtiers: 75% des habitats vikings connus se trouvaient à moins d'un kilomètre d'une zone inondée; 65% à moins d'un demi-kilomètre. Les recherches archéologiques ont d'ailleurs mis au jour de nombreuses ruines noyées.

Pourquoi ce phénomène a-t-il été ignoré jusqu'à présent?

La plupart des études sur la disparition des Vikings sont des travaux archéologiques qui laissent place à plusieurs interprétations. Et les études géologiques menées dans cette région ne s'étaient concentrées que sur la croissance de l'inlandsis groenlandais. Jusqu'ici, personne n'avait encore appliqué un modèle de pointe et une analyse de la physique du niveau de la mer au Groenland de cette époque.

Mais comment expliquer que les Vikings aient dû plier bagage, alors que les Inuits ont survécu jusqu'à aujourd'hui?

Contrairement aux Inuits, les Vikings ont dû faire face à une myriade de défis sociaux, environnementaux et économiques au Groenland. Cette montée des eaux les a donc certainement amenés à un point de bascule: cela a été la goutte d'eau de trop. L'analyse de restes humains et animaux montre d'ailleurs une tentative d'adaptation à la perte de terres arables à partir du début du XII^e siècle: ces populations sont progressivement passées de l'élevage à la pêche. Mais cela n'a pas suffi...

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

Labyrinthe

PAR MURIEL VALIN, AVEC LÉA DESRAYAUD

SOURCES : ENEDIS ; ADEME ; IEA ; UNCEC ; CEA ; EDF ;
MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ; CARBON



LE CASSE-TÊTE DU PHOTOVOLTAÏQUE

Le 10 mars dernier, la loi relative à l'accélération de la production d'énergie renouvelable a réaffirmé l'objectif du gouvernement : augmenter la part du photovoltaïque dans le mix énergétique, et donc l'installation de panneaux solaires. Ce qui reste un vrai défi en termes de production, d'espace, d'intermittence... Pas si simple.

+22 % en 1 an
Soit 1 000 térawattheures produits en 2021, ce qui représente 3,6% de l'électricité mondiale.



Il faut trouver de l'espace

OUI MAIS, une autre technologie, à base de pérovskite, a déjà atteint 30% en labo et pourrait encore s'améliorer.

CERTES, mais le rendement maximal théorique des panneaux en silicium reste de 31%.



x 4
C'est la différence de production d'un panneau en France entre décembre et juillet.

Un rendement qui s'améliore
Il est passé de 13% d'énergie lumineuse transformée en électricité, par rapport à celle qui a été captée, il y a 5 ans, à 22-24% aujourd'hui.

Une intermittence par nature
La production d'électricité chute par temps couvert et quand il fait plus de 25°C ; et les périodes de production ne coïncident pas toujours avec celles de consommation.

Une part forcément limitée

Vers des giga-centrales
Les centrales produisent 52% de l'électricité photovoltaïque mondiale. Leur coût d'installation a été divisé par 5 en 10 ans. La plus grande fait 8 km² (Emirats arabes unis), contre 2,58 pour la plus grande française.

SAUF QUE les panneaux occupent parfois de potentielles terres agricoles.

D'AILLEURS, la France encadre depuis le 10 mars les conditions de ces installations sur des terres cultivées.



Sur les toits des particuliers ?
Malgré le retour sur investissement (auto-consommation, revente) et les aides, l'installation reste chère (9000 à 13000 €). Sans oublier les procédures, la réglementation, les délais. La France totalise tout de même 208 000 installations résidentielles.

3% de notre électricité vient du photovoltaïque, contre 14% aux Pays-Bas.

RESTE QUE la France est en dessous de ses objectifs.

x 20
C'est l'énergie produite par un panneau en 30 ans d'exploitation par rapport à celle utilisée pour le fabriquer.

Une empreinte rapidement compensée
Grâce à l'énergie verte qu'il produit, un panneau rattrape les émissions liées à sa fabrication en 4 à 8 mois. Sachant que son exploitation est vertueuse : pas de rejet polluant, peu de maintenance, de bruit, d'eau utilisée...



En grande partie recyclable
Le taux de recyclage effectif varie beaucoup d'un pays à l'autre. Là-dessus, la France est exemplaire et recycle tout ce qui peut l'être, soit 90% de chaque panneau (verre, silicium...)

SANS COMPTER les avancées en labo, comme celle du CEA : son dernier panneau a un bilan 2 fois plus faible grâce à l'utilisation d'électricité verte et de matériaux locaux.

SHUTTERSTOCK - LÉA DESRAYAUD

Sur mer ? Dans l'espace ?
Solaire flottant, centrales spatiales (avec un déploiement visé d'ici 10 ans) : les projets fleurissent partout dans le monde.

Sur des bâtiments collectifs ?
C'est la piste privilégiée. À partir de juillet, aires de repos, parkings... de plus de 1500 m² devront être couverts à 50% de photovoltaïque. Les immeubles non résidentiels neufs ou rénovés (hôpitaux, écoles...) devront l'être à 30%, puis 50% en 2027.

Un bilan environnemental qui reste positif

Même si les panneaux ont une empreinte carbone non négligeable, due à l'énergie dépensée pour les fabriquer et les transporter : plus de 90% sont produits en Chine, quasi seul pays à maîtriser toute la chaîne.

43 g de CO₂ / kWh en moyenne
sont émis, contre 14 pour l'éolien, 6 pour l'hydraulique. Et 1060 g pour le charbon.

MAIS une Alliance européenne de l'industrie solaire tente de réimplanter des usines d'ici à 2025.

À L'INSTAR du giga-projet du français Carbon qui veut fabriquer 5 GW de cellules photovoltaïques par an à Fos-sur-Mer.

÷ 5
Le taux de poussières émises a largement diminué.

CEPENDANT les rebuts sont de mieux en mieux récupérés et réutilisés. Et l'amélioration des techniques de découpe permet de limiter les poussières.

Des déchets toxiques
Le raffinage et la découpe des lingots de silicium produisent du tétrachlorure de silicium – qui, au contact de l'air, devient néfaste pour le système respiratoire – et de la poudre de silicium.

Une production de moins en moins polluante

95% des panneaux photovoltaïques dans le monde sont composés de silicium cristallin, et 5% sont des couches minces (films flexibles).

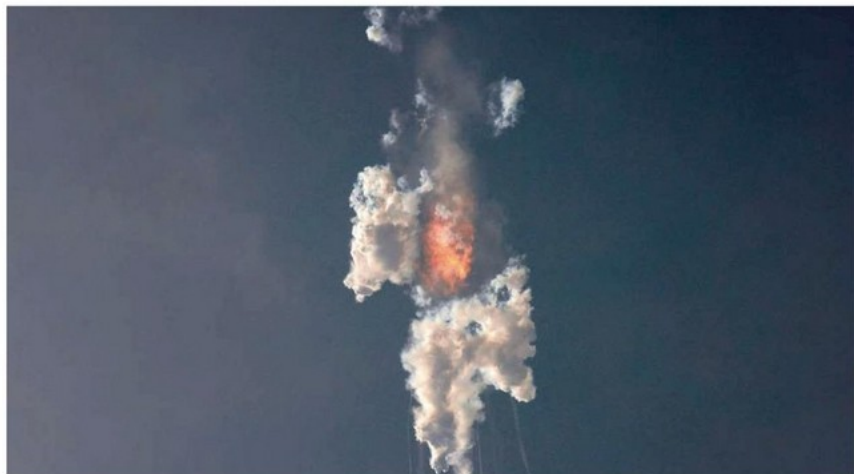
Des matériaux très courants
Aucunes terres rares. La plupart sont faits en aluminium, en argent, pour faire circuler les électrons, et surtout en silicium, obtenu à partir de quartz et de sable.



SAUF QUE l'argent pourrait venir à manquer. Le cuivre serait alors une bonne alternative.

C'est dans l'air

L'HISTOIRE SE RÉPÈTE



Quand les fusées d'Elon Musk explosent

Le 20 avril 2023

Le 1^{er} Starship SuperHeavy est détruit en vol

Et ce moins de 4 minutes après avoir décollé pour son tout premier envol dans cette version, qui préfigure celle qui propulsera les humains vers la Lune. Après la perte de plusieurs moteurs et une trajectoire devenue erratique, SpaceX décide d'activer l'auto-destruction. « Le test d'aujourd'hui nous aidera à améliorer la fiabilité de Starship », a rapidement communiqué l'entreprise sur Twitter.

Le 9 décembre 2020

Le 3^e prototype Starship se crashait au sol

Il succédait pourtant à deux succès. L'engin atteint les 12,5 km d'altitude prévus, mais ne peut freiner sa descente. Sur Twitter, Elon Musk s'enflamme : « La pression du réservoir de carburant était faible, ce qui a entraîné une vitesse d'atterrissage élevée et un démontage rapide et imprévu, mais nous avons obtenu toutes les données dont nous avons besoin ! Félicitations à l'équipe SpaceX, yeah !! ».

Le 30 septembre 2013

Le premier étage du Falcon 9 s'écrasait en mer

La fusée a été conçue pour être en partie réutilisable, mais ce premier test en mer échoue, Falcon 9 tombe dans l'eau. En décembre 2015, l'opération réussit sur terre : après sa mise en orbite, elle devient la seule fusée capable de réatterrir en partie. Et en avril 2016, après quatre essais infructueux, la première à se poser délicatement sur une barge autonome flottante.

Le 24 mars 2006

Falcon 1 explosait pour son premier vol

Le début laborieux d'une success-story : le premier vol de la première fusée entièrement conçue et fabriquée par une entreprise privée tourne court : une minute après le lancement, l'engin explose avec son satellite à cause d'une panne moteur. Il faudra attendre deux ans et demi pour y parvenir. Un mantra est né : « Si les choses n'échouent pas, c'est que vous n'innovez pas assez » P.-Y. B.

POLÉMIQUE

Les caméras de surveillance intelligentes sont-elles vraiment efficaces ?

Adoptée en première lecture au Sénat et à l'Assemblée nationale, la loi JO 2024 autorise l'utilisation de la vidéo-surveillance algorithmique jusqu'au 31 décembre 2024. Mouvements de foule, sac abandonné, départ d'incendie, comportements suspects... l'intelligence artificielle est censée aider les opérateurs, qui scrutent les vidéos des caméras de surveillance, en générant des alertes lorsque des « événements prédéterminés susceptibles de menacer la sécurité des personnes » sont détectés. Ce qui fait débat. « À ma connaissance, il n'existe aucune évaluation scientifique rigoureuse de l'efficacité de cette technologie dans un but sécuritaire », affirme Guillaume Gormand, chercheur associé au Centre d'études et de recherche sur la diplomatie, l'administration publique et la politique, à l'université Grenoble-Alpes. *Les témoignages positifs et les faits divers montrant qu'elle a déjà été utile ne constituent pas une évaluation.*

Et encore faut-il s'entendre sur cette notion d'« efficacité ». « Elle se définit par rapport à un objectif donné », souligne Djojar Sidhoum-Rahal, chercheuse en droit à l'université de Limoges. Est-ce que les systèmes de surveillance vont vraiment faire augmenter le nombre d'événements détectés par les opérateurs ? Et améliorer la sécurité des citoyens ? « Rien de tout cela n'est clairement fixé ni même abordé dans le débat public », déplore la chercheuse.

La loi prévoit qu'un rapport d'évaluation sera remis par le gouvernement au 31 décembre 2024 pour décider d'une éventuelle pérennisation de l'usage de ces caméras intelligentes. De quoi lever les incertitudes ? Les scientifiques interrogés en doutent... X.B.



JOE SHAPPE/GETTERS - SHUTTERSTOCK

À PART ÇA



Record de production pour l'électricité propre

Le solaire et l'éolien ont produit 12 % de l'électricité mondiale en 2022. Un pourcentage jamais atteint. Reste que les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté de 1,3 %. En cause : une consommation énergétique globale elle aussi en hausse.



Une IA a gagné un concours photos

Le photographe allemand Boris Eldagsen a soumis un cliché à Sony World Photography Awards, sans dire qu'il avait été généré par un programme informatique. Vainqueur du concours, il a ensuite expliqué l'origine de sa photo et refusé le trophée.



L'Inde devient le pays le plus peuplé

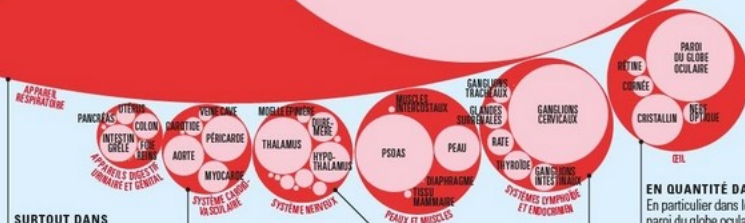
1 425 775 850 personnes : c'est le nombre d'habitants qui vivaient en Inde en avril dernier, selon la dernière estimation des Nations unies. Le pays passe officiellement devant la Chine, dont la démographie, elle, décroît.



Ingenuity réussit son cinquantième vol martien

Le petit hélico spatial envoyé par la Nasa continue d'épater. En test depuis 2021, cet engin de 2 kg a déjà parcouru plus de 11 km et volé jusqu'à 18 m d'altitude. Ce qui dépasse toutes les prévisions.

Voici où se loge le SARS-CoV-2 dans notre corps



SURTOUT DANS LE SYSTÈME RESPIRATOIRE

Le virus y est présent dès le début de l'infection. Même si c'est ici que la réponse immunitaire est la plus forte, et même si la quantité de matière virale diminue avec le temps, elle y reste massive chez tous les malades.

IL VOYAGE DANS NOS VAISSEAUX

Avant même les premiers symptômes, le SARS-CoV-2 circule dans le sang. Il s'arrête au bout de deux semaines et se niche dans l'organisme, y compris notre cœur, provoquant sans doute fatigue, palpitations...

LE CERVEAU AUSSI EST ATTEINT

En quelques jours et jusqu'à 8 mois après l'infection, de l'ARN viral se déploie dans notre système nerveux central. Fourmillements, faiblesse motrice et troubles cognitifs pourraient en découler.

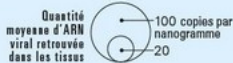
IL PERSISTE DANS NOS ORGANES LYMPHATIQUES

Curieusement, c'est hors de l'appareil respiratoire que le virus semble survivre le plus longtemps. La réponse immunitaire y serait moins massive, même en présence de globules blancs.

D'où viennent ces données

L'équipe interuniversitaire américaine menée par le virologue Daniel Chertov a autopsié 44 patients non vaccinés morts du Covid entre 4 jours à 8 mois après l'infection. Les chercheurs ont analysé tissus et fluides corporels de 84 zones anatomiques différentes en comptant la matière virale du SARS-CoV-2.

PAR LÉA DESRAYAUD
SOURCE : S. R. STEIN ET AL. NATURE, DÉC. 2022



Complétez votre collection



[SUR COLLECTION.EPSILOON.COM](http://SUR_COLLECTION.EPSILOON.COM)

ou scannez le QR code ci-dessus



Suivez-nous aussi sur les réseaux sociaux

PLASTIQUE

SHUTTERSTOCK

ENQUÊTE SUR LA PLUS GRANDE POLLUTION DE TOUS LES TEMPS

Tous les scientifiques interrogés pour ce dossier spécial reconnaissent qu'ils peinent à mesurer l'ampleur du phénomène. Mais tous s'avouent très inquiets sur ses conséquences écologiques et sanitaires. Et tous partagent ce sentiment d'urgence : il est temps de regarder en face la catastrophe qui est en cours.

PAR MURIEL VALIN, ALEXANDRA PIHEN,
FIORENZA GRACCI ET EMMANUEL MONNIER

38
LE MONDE ENTIER TOURNE
AU PLASTIQUE

42
ENVIRONNEMENT : UNE POLLUTION
SANS ÉQUIVALENT

46
SANTÉ : UNE BOMBE
À RETARDÉMENT

50
INDUSTRIE :
L'IMPASSE DU RECYCLAGE

54
ET MAINTENANT ?

ny est. Face au plastique. Face à une pollution sans équivalent dans l'histoire. Face aux menaces pour la santé des humains et des écosystèmes. Et face à une production mondiale qui ne cesse d'exploser.

Du 29 mai au 2 juin, la France accueille à Paris plus de 2 000 personnes représentant plus de 150 pays et des membres de la société civile. Objectif de la négociation: définir un cadre juridique contraignant pour mettre fin aux dégâts de cette invention qui n'en finit pas de changer la face du monde.

Une invention fantastique, trop peut-être... On produisait 2 millions de tonnes de plastique en 1950, 234 millions en 2000; 460 millions aujourd'hui! Un récent rapport de l'OCDE estime que si rien n'est fait, la production devrait dépasser les 1,2 milliard de tonnes en 2060. Une vertigineuse catastrophe écologique

«**Tous les plastiques, tout le long de leur cycle de vie, sont dans le collimateur**»

David Azoulay, juriste, directeur du programme de santé environnementale chez Ciel

en perspective: selon cette même étude, moins de 20% des plastiques produits seront recyclés en 2060, la moitié aboutira en décharge, 20% seront incinérés et le reste, échapant aux systèmes de gestion des déchets, finira donc dans la nature...

En 2015, les calculs de Jenna Janbeck avaient déjà marqué les esprits: cette ingénieure environnementale de l'université de Géorgie, aux États-Unis, estimait que 8 millions de tonnes de plastique étaient rejetées chaque année dans l'océan. Soit l'équivalent d'un camion-benne par minute. Les mesures effectuées depuis dans le sol, dans les eaux, dans les glaces et chez le vivant n'ont fait que confirmer la pollution en cours.

En 2022, les membres de l'Assemblée des Nations unies pour l'environnement ont convaincu 175 pays d'adopter d'ici à fin 2024 «un instrument international juridiquement contraignant sur la pollution plastique, y compris dans le milieu marin». Un Comité intergouvernemental de négociation a été mis en place et une première session de discussion a démarré à Punta del Este, en Uruguay, en novembre dernier. Tout le monde s'est donné rendez-vous à Paris ce 29 mai pour continuer à élaborer un traité international contre la pollution plastique.

«Alors qu'en 2016 les premiers échanges autour du plastique au niveau international étaient essentiellement concentrés sur les emballages dans les océans, aujourd'hui, on a changé de paradigme. Ce sont tous les plastiques tout le long de leur cycle de vie qui sont dans le

10 % DANS LES TISSUS

Acrylique, élasthane, polyester... Près des deux tiers de notre linge et de nos vêtements sont en fibres synthétiques.

UN USAGE MASSIF POUR LES EMBALLAGES

143 millions de tonnes de sacs, films alimentaires, flacons en polyéthylène, bouteilles d'eau en PET, coques en polystyrène...

TOUS LES OBJETS DU QUOTIDIEN

Ils représentent 10% : près de 50 millions de tonnes de plastique sont transformées en jouets, meubles...

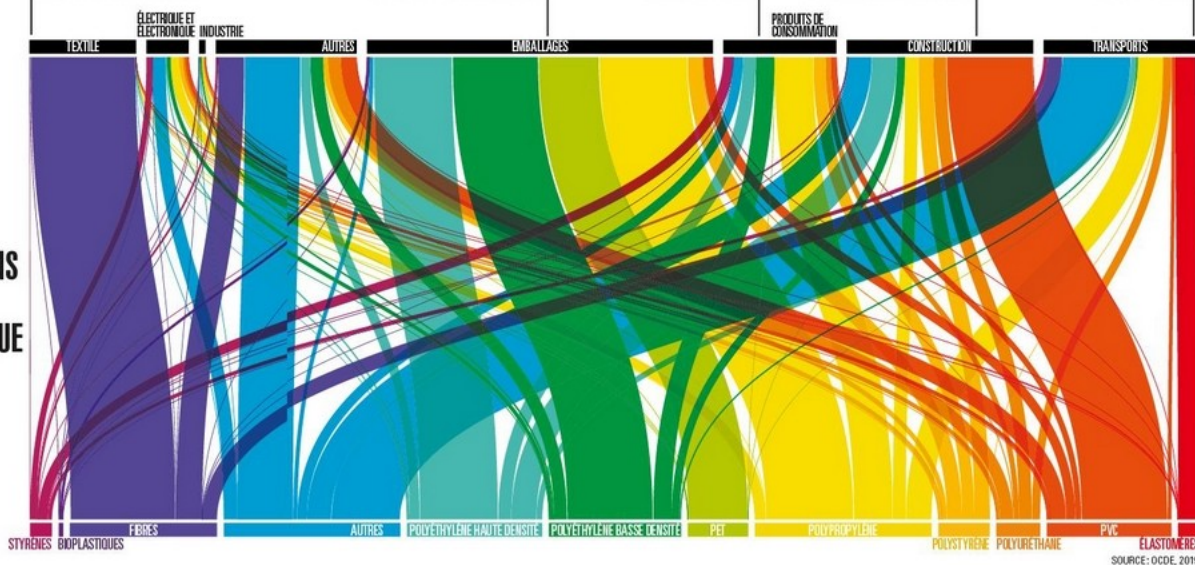
LE BÂTIMENT, 2^e SECTEUR LE PLUS GOURMAND

Tuyaux, revêtements de sol, fenêtres, isolations... La construction accapare 77 millions de tonnes de plastique.

63 MILLIONS DE TONNES DANS LES TRANSPORTS

Il est partout dans les véhicules : des pneus en élastomère, des sièges en polyuréthane...

460 MILLIONS DE TONNES DE PLASTIQUE PRODUITES PAR AN



collimateur. Et c'est une très bonne nouvelle», se réjouit David Azoulay, juriste et directeur du programme de santé environnementale au Center for International Environmental Law, présent à ces négociations.

Idun Rognerud, hydrologue, à l'Institut norvégien de recherche sur l'eau, reste cependant prudente: «À Punta del Este, l'atmosphère était optimiste, il y a eu de bons progrès, mais il y a eu aussi des blocages sur les questions de procédure.» Il faut dire que les enjeux économiques

sont énormes –le plastique représente 1 200 milliards de dollars par an selon l'OCDE, soit 5% du commerce des marchandises. Et un débouché de plus en plus important pour les grands groupes d'hydrocarbures, contraints de se réinventer afin de préparer la fin du moteur à combustion. «Lors de la première session, de nombreux délégués étaient consternés par la forte présence d'industriels polluants, témoigne Trisia Farrelly, anthropologue à l'université de Massey, en Nouvelle-

Zélande. Il y a eu un sentiment de frustration de la part de certains groupes de la société civile et d'États qui veulent faire progresser les négociations, sachant qu'il n'y a plus de temps à perdre.»

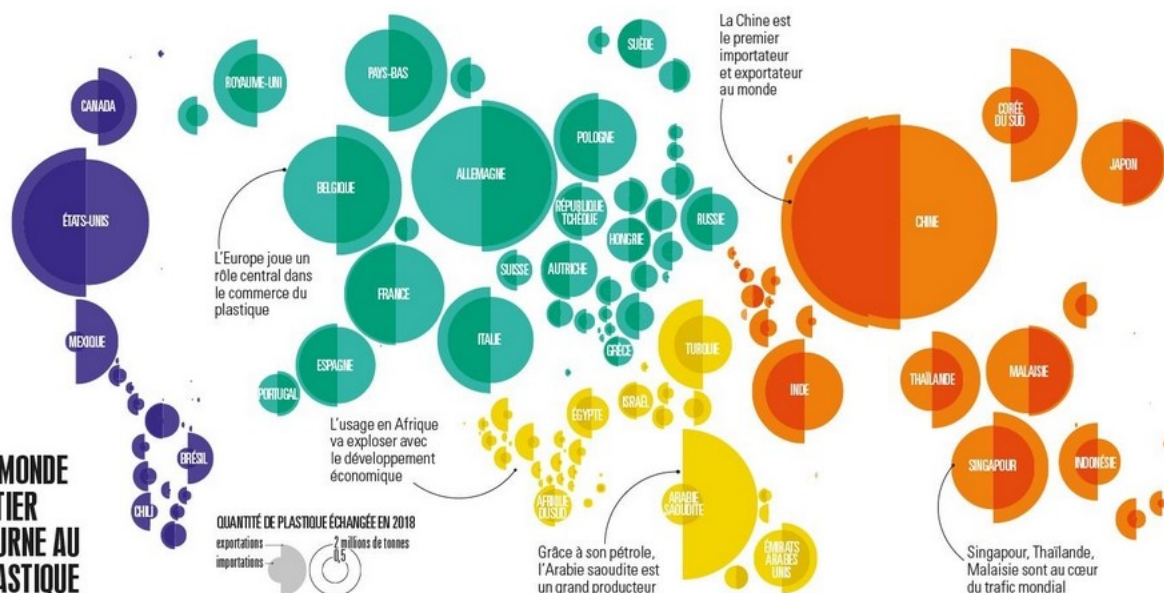
DE FORTES RÉSISTANCES

Dès le début des discussions en Uruguay, soixante pays ont endossé un rôle moteur, à travers une coalition ad baptisée «haute ambition». En chef de file, le Rwanda, l'un des pays les plus avancés sur le sujet,

et la Norvège, suivis par les pays de l'Union européenne, le Maroc, le Pérou... mais aussi des États insulaires du Pacifique. «Un grand nombre des membres de cette coalition font partie des premières victimes de la pollution plastique et n'ont simplement pas les moyens de s'en protéger seuls», commente David Azoulay.

Face à eux, un deuxième groupe de pays, au premier rang desquels les États-Unis, l'Arabie saoudite, les pays du Golfe, la Russie et l'Inde, ne tire pas dans le même sens. Avec entre

LE MONDE ENTIER TOURNE AU PLASTIQUE



les deux, la Chine. « Elle a dévoilé assez peu ses cartes. Pour l'instant, elle écoute, sans révéler vraiment sa position », constate David Azoulay.

Qu'attendre de ces négociations ? Il y aura assurément des discussions autour de la production, et même de l'interdiction de certains polymères parmi les plus toxiques – dont les styrènes et les polystyrènes, qui font partie des plastiques les plus souvent

cités par les experts interrogés. Les fameux objets à usage unique pourraient aussi se retrouver sur la sellette dans les pays où ils sont encore autorisés.

« Dans ces réunions, l'industrie, notamment celle des combustibles fossiles, des produits pétrochimiques et des polymères veut protéger ses investissements : elle concentre ses efforts sur l'aval, comme la

gestion des déchets plastique, tandis que d'autres acteurs considèrent les mesures en amont comme essentielles », note Bethanie Carney Almroth, biologiste à l'université de Göteborg, présente elle aussi aux discussions.

Les avancées dépendront en partie de la façon dont les pays prendront leurs décisions. Par vote à la majorité ou par consensus ? Avec un possible droit de veto ? La question n'est pas tranchée. Mais la volonté politique s'affirme avec force : le 16 avril dernier, les ministres du climat, de l'énergie et de l'environnement du G7 se sont « engagés à mettre fin à la pollution plastique, avec l'ambition

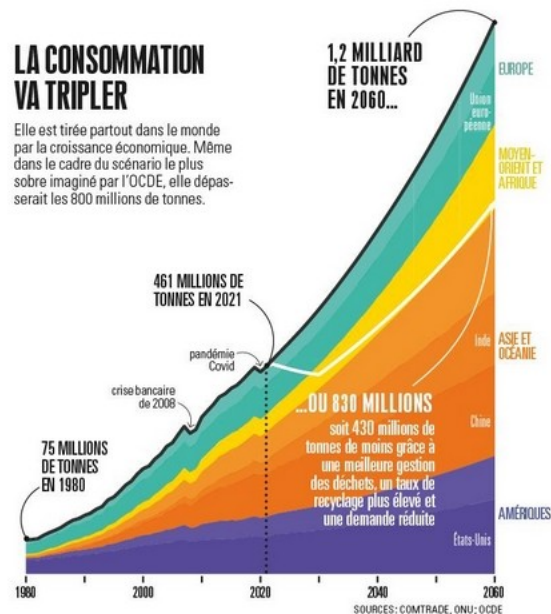
de réduire à zéro toute pollution supplémentaire d'ici à 2040 ».

Sans doute est-ce irréaliste, mais « le traité est une occasion à ne pas manquer pour élaborer un contrat inaugural qui rassemble tous les acteurs : élus, secteur privé, associatif, scientifique, et ceci hors d'attente des conflits d'intérêts avec l'industrie », appuie Juan Baztan, chercheur en sciences de l'environnement à l'université Paris-Saclay. « Ce traité aura l'avantage d'être juridiquement contraignant, ce qui laisse espérer de vrais effets, contrairement à l'accord de Paris sur le climat signé en 2015, qui repose sur des actions volontaires », prédit Bethanie

LEA DESRIVAUD

LA CONSOMMATION VA TRIPLER

Elle est tirée partout dans le monde par la croissance économique. Même dans le cadre du scénario le plus sobre imaginé par l'OCDE, elle dépasserait les 800 millions de tonnes.



Carney Almroth. Beaucoup d'experts citent en référence le protocole de Montréal, signé par tous les pays de l'ONU, qui a permis de résorber le trou dans la couche d'ozone.

UN PROBLÈME GLOBAL

Idun Rognerud invite d'ailleurs à élargir le périmètre : « La pollution par les plastiques est étroitement liée aux problèmes environnementaux du changement climatique et de la perte de biodiversité. Nous ne pouvons pas considérer ces priorités comme concurrentes. Les actions visant à résoudre l'une doivent prendre en compte les impacts sur l'autre. » La communauté scientifique, elle, tente

toujours de prendre la mesure de la menace. « La compréhension des causes, des impacts et des solutions pour réduire la pollution fait appel à la fois aux ingénieurs, aux climatologues, aux anthropologues, aux médecins, aux économistes... La recherche interdisciplinaire est essentielle pour trouver des solutions à ce défi », souligne Juan Baztan. Mais tous les chercheurs que nous avons interrogés s'avouent inquiets de l'ampleur des dégâts écologiques et sanitaires déjà en cours.

Et tous le soulignent : il est l'heure de faire face, enfin, à ce qui ressemble déjà à la plus grande pollution de tous les temps. M.V.

ENVIRONNEMENT

UNE POLLUTION MONDIALE SANS ÉQUIVALENT

« Plus on les cherche, plus on les trouve », constate Matthieu Mercier, physicien à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse, qui recense les plastiques océaniques. *Nous pourrions certainement retrouver tout le plastique que nous avons injecté dans l'environnement depuis 30 à 50 ans.* La question n'est plus de savoir si la pollution existe, mais comment mieux la traquer.

Pourtant, la prise de conscience a été longue. L'histoire débute un siècle après la fabrication du premier

ILS S'IMMISCENT À TOUS LES NIVEAUX DU VIVANT

polymère, dans les années 1970, à des milliers de kilomètres des humains: de premières particules de plastique sont retrouvées dans la mer des Sargasses. Ensuite, comme des clous qu'on enfonce, chaque décennie est venue assombrir le tableau. Au début

des années 1980, l'inquiétude scientifique croît autour de la multiplication des débris marins. Deux premières conférences internationales sur le sujet sont menées en 1984 et 1989, elles lancent des salves de recherches.

En 1996, l'océanographe Charles Moore découvre une gigantesque étendue de débris au milieu du gyre du Pacifique Nord – ce tourbillon géant créé par la réunion de courants. On sait aujourd'hui que ces soupes de morceaux de plastique couvrent la surface des cinq gyres océaniques. En 2004, le biologiste marin Richard Thompson est le premier à tirer le signal d'alarme sur leur fragmentation en particules

de moins de 5 mm: invisibles à l'œil nu, elles sont omniprésentes dans les sédiments océaniques et les eaux de surface. En 2010, l'analyse de 748 échantillons collectés entre Cape Cod et la mer des Caraïbes inventorie pour la première fois les propriétés

DANS LES OcéANS ET LES MERS

Sur la base de prélèvements effectués dans l'Atlantique Nord (jusqu'à -300 m), une étude néerlandaise de 2022 estime la masse de plastique dans la partie supérieure de l'océan entre 11 et 21 millions de tonnes, contre 0,3 en surface.

physiques des débris: la plupart ont une taille inférieure à 10 mm, pèsent moins de 0,05 g. Et deux ans après, le biologiste allemand à l'université libre de Berlin Matthias Rillig lance l'alerte sur la pollution des sols. « *Encore aujourd'hui, dit-il, je ne suis pas sûr que les gens soient bien conscients de la complexité du problème des microplastiques et de la manière dont ils interagissent avec tout ce que nous faisons.* »

ERIC CHARDIER



Échantillon de plancton contaminé par des microplastiques

DANS L'ESTOMAC DES CONDORS DES ANDES

Papier, tissu, laine et une majorité de sacs plastique... L'analyse de pelotes de réjection des grands charognards dans deux régions du Pérou, l'une côtière et l'autre montagneuse, révèle la présence de débris de plastique dans 85 à 100 % des cas.

AU CŒUR DES PYRÉNÉES

Chaque jour, quelque 370 microparticules de plastique finissent leur course sur un bassin-versant du massif pyrénéen: c'est le résultat d'une étude française portant sur l'analyse d'échantillons prélevés de novembre 2017 à mars 2018.

SUR L'EVEREST

30 microparticules par litre dans la neige et une par litre dans l'eau des ruisseaux, dont une majorité de fibres de polyester issues des vêtements et équipements des grimpeurs: voici la pollution constatée sur place par les scientifiques de l'université de Plymouth.

Depuis, les données se sont affinées: rivières, montagnes, sols, air... Les débris plastique sont dans tous les écosystèmes. Leur ingestion est rapportée chez plus de 900 espèces, on en trouve dans nos poumons, le lait maternel, les testicules même...

Ils s'immiscent à tous les niveaux du vivant. Et si environ 0,3 million de tonnes de plastique flotte à la surface des océans, on sait que 4 à

DANS LE LAIT MATERNEL

En 2022, des biologistes italiens mettent en valeur la perméabilité des membranes cellulaires aux microplastiques. Polyéthylène, chlorure de polyvinyle et polypropylène de 2 à 12 µm: 26 des 34 échantillons de lait maternel analysés sont contaminés.

12 millions de tonnes s'y déversent chaque année, via les fleuves. Ce décalage a d'ailleurs alimenté ce que les scientifiques appellent le paradoxe des plastiques manquants. « *Nous avons beaucoup travaillé pour comprendre où ils se trouvaient: dans les sédiments? Dans la colonne d'eau? Ingerés? Digérés par les micro-organismes?* » raconte Jean-François Ghiglione, au laboratoire d'océanologie de

DANS LES GLACES DU PÔLE SUD

Une moyenne de 12 particules de microplastique par litre et 96 types différents: c'est le bilan de l'analyse par spectroscopie infrarouge effectuée en 2020 par les scientifiques de l'université de Tasmanie à partir d'une carotte de 115 cm prélevée dans la banquise côtière de l'Antarctique oriental en 2009.

DANS LES EAUX DE L'ARCTIQUE

La pollution plastique est désormais omniprésente au pôle Nord, selon une revue de la littérature réalisée par les scientifiques allemands de l'Institut Alfred-Wegener en avril 2022. Même les zones où l'activité humaine est absente, comme les grands fonds marins, sont polluées.

Banyuls-sur-Mer. *Peut-être avions-nous mal estimé les quantités fluviales qui se déversent dans les eaux marines...*

Ce n'est qu'en décembre dernier que, pour la première fois, une équipe du laboratoire Géosciences Environnement Toulouse a modélisé le cycle de vie des plastiques entre la terre, l'atmosphère et l'océan. Verdict: ceux qui flottent à la surface de la mer sont une goutte d'eau comparés à ceux que l'on trouve dans les profondeurs –82 millions de tonnes– ou dans

par des composts produits à partir de déchets organiques ménagers et urbains, et de boues d'épuration par Véolia, ne laisse pas de place au doute: «*Nous avons retrouvé des plastiques dans toutes les fractions de nos sols*», déplore la biogéochimiste Marie-France Diognac, à l'Inrae, qui consacre ses recherches à la traque de ces marqueurs par spectrométrie par pyrolyse, une technique thermique permettant de réaliser une sorte d'empreinte chimique de l'échantillon. Mais la métrologie peine à

DANS LES POUMONS

En avril 2022, l'équipe médicale de l'université de Hull est la première à mettre en avant la présence de plastique dans les poumons de 13 patients. À l'exception de deux femmes, les tissus pulmonaires prélevés contiennent tous au moins un microplastique.

DANS LES SOLS AGRICOLES EN FRANCE

En 22 ans, l'équivalent de 80000 sacs plastique ou 1400 petites bouteilles d'eau par hectare a pollué les terres agricoles d'au moins 18 départements français, amendées à l'aide de composts issus du tri des ordures ménagères, selon une étude de l'Inrae.

les sédiments côtiers –115 millions. «*Mais ces 200 millions de tonnes ne représentent que 3% des plastiques perdus*», prévient le biogéochimiste Jeroen Sonke, qui a dirigé les travaux.

Car la modélisation met en avant l'une des grandes inconnues du cycle: la quantité de plastique dans les sols. Champs, villes, zones industrialisées... Leur présence y est avérée. Début 2023, une approche probabiliste par des chercheurs suisses évalue la pollution mondiale à 3600 particules par kilo en moyenne pour les sols urbains et industriels, 440 pour les sols agricoles et 300 pour les sols naturels. En France, l'analyse en 2022 d'échantillons de terres amendées

suivre. «*La pollution plastique est chimiquement complexe: arrive au sol le polymère, mais aussi de nombreux additifs qui, une fois incorporés dans les matières organiques, sont difficiles à isoler et à caractériser.*»

LE POTENTIEL DES PLASTIQUES SUR LE CLIMAT RESTE INCONNU

Et puis il y a la pollution de l'air. Quelles sont les concentrations de particules de plastique dans l'atmosphère? «*La voie atmosphérique est réelle*», affirme Jeroen Sonke. Reste que les données sont encore parcelaires. Seules une douzaine d'études

DANS DES GRÊLONS DU VILLAGE DE PRELESJE, EN SLOVÉNIE

Fin 2022, l'analyse par microscopie électronique et spectroscopie Raman de grêlons pouvant atteindre 13 cm de diamètre révèle la présence de microplastiques. Preuve, pour les chercheurs slovénes, du rôle de ces polluants dans la formation des grêlons géants.

DANS L'ESTOMAC DES CHAMEAUX AUX ÉMIRATS ARABES UNIS

De 2008 à 2017, la mort de 300 chameaux est imputée par le laboratoire central de recherche vétérinaire de Dubaï à des agrégats compacts impossibles à digérer. L'analyse de cinq d'entre eux révèle une majorité de fragments de cordes synthétiques et de sacs en plastique.

DANS LES TISSUS DES MOULES DES ÎLES FIDJI

Une étude de l'université du Pacifique Sud le confirme: les branchies et tissus de 100% des moules comestibles issues de cinq rivières de l'île principale des Fidji sont contaminées à hauteur de six microplastiques en moyenne.

DANS L'AIR DE DONGGUAN, EN CHINE

Entre 175 et 313 particules de microplastique par mètre carré et par jour sont présentes dans les retombées atmosphériques des trois sites de surveillance de l'air de la ville chinoise en 2016.

DANS LES PALMIERS DE LOS ANGELES

Début 2023, une étude américaine montre que 25 jours ont suffi pour déposer entre 0,14 et 25 particules de microplastique par centimètre carré sur 69 feuilles d'essences variées de plantes et d'arbres issues de 19 zones urbaines différentes.

DANS LES ROCHES DE L'ÎLE TRINIDADE AU BRÉSIL

Épaisse de 5 à 50 cm, la surface de 12 m² découverte sur une plage est composée de plastiglomérats, mélanges de granules sédimentaires et d'autres débris maintenus ensemble par du plastique.



Microplastiques infiltrés dans du sel de table

Bactéries couvrant des débris de plastique: le labo Interactions moléculaires et réactivité chimique et photochimique (CNRS/UPS) étudie leur capacité à le métaboliser.



ont montré des concentrations de microplastiques en suspension allant de 0,01 particule par mètre cube dans l'ouest de l'océan Pacifique, à plusieurs milliers à Londres et à Pékin. «*Il est encore trop tôt pour obtenir des chiffres fiables*», pose Zamin Kanji, physicien de l'atmosphère à ETH Zurich, qui a démontré la capacité des microplastiques en suspension à servir

d'aérosols et à favoriser la formation de nuages. De quoi polluer les zones vierges? Jouer sur le climat? «*Le potentiel existe. D'autant que les concentrations augmenteront de manière significative au cours des deux prochaines décennies.*»

SANTÉ

UNE BOMBE À RETARDEMENT

«C'est un invisible et immense drame qui est en cours. C'est comme si on regardait le sommet de l'iceberg dans la brume: nous percevons à peine l'étendue du problème.»

Philip Landrigan est l'auteur principal du premier bilan mondial des dégâts sanitaires du plastique, publié fin mars par le Centre scientifique de Monaco, qui rassemble les résultats de centaines d'études dispersées en différentes disciplines. Cet épidémiologiste au Boston College et ses collègues ont évalué le coût sanitaire lié à la production du plastique –nombre de morts parmi les travailleurs,

IL EST PARTOUT : FOIE, REINS, RATE, PLACENTA, CERVEAU...

par accident ou intoxication, dégâts dus aux particules et aux gaz émis: 250 milliards de dollars par an. Mais surtout, ils ont mesuré les conséquences de l'utilisation de ces matériaux, en se concentrant sur les trois molécules pour

lesquelles les effets sanitaires ont été le mieux étudiés (les phtalates, le bisphénol A et les retardateurs de flamme bromés).

IGNORANCE INSENSÉE

«Ces trois composants chimiques associés au plastique contaminent l'ensemble de la population américaine, comme le montrent des dosages de leur concentration sanguine effectués chaque année dans un échantillon représentatif, et tout particulièrement les enfants, rapporte Philip Landrigan. C'est du jamais-vu: nous avons calculé qu'à eux seuls, aux États-Unis, ils imposent un coût sanitaire d'un milliard de dollars par an!»

Tous les experts interrogés ont eux aussi le sentiment d'être face à une bombe à retardement sanitaire. «Ce domaine commence seulement à émerger et l'étendue de notre ignorance est insensée: il faut à tout prix approfondir ce sujet», s'inquiète Hayley Charlton-Howard, biologiste à l'Institute

for Marine and Antarctic Studies, en Australie. «Il y a une prise de conscience évidente de la part de la communauté scientifique qu'il faut accélérer les recherches: plusieurs programmes ont démarré ces deux dernières années», abonde Robert Barouki, toxicologue à l'Inserm.

Non, nous ne sommes pas épargnés par les micro et les nanoplastiques qui ont envahi les sols, les cours d'eau, les océans et les chaînes alimentaires. «L'oryanisme humain est un reflet de ce qui se passe dans l'environnement», souligne Robert Barouki. Bien qu'il possède un système pour éliminer les substances nocives, principalement à l'aide des enzymes du foie, certaines y échappent et font des dégâts.» Des dommages pour la plupart inconnus,

IL EXISTE
DES DIZAINES
DE PLASTIQUES DIFFÉRENTS,

CONTENANT **10 000** ADDITIFS.

500 DE CES SUBSTANCES
SONT BIEN ÉTUDIÉES,

DONT LES **3** PLUS RÉPANDUES ONT
DES EFFETS TRÈS BIEN ÉTAYÉS
(RETARDATEURS DE FLAMME BROMÉS,
PHTALATES, BISPHÉNOL A).

1 000 À 2 000
RESENT
MÉCONNUES.

ET ON NE SAIT RIEN
DES AUTRES.



GETTY IMAGES

sans doute très nombreux, et qui agissent à différents niveaux.

Il y a d'abord l'action de micro-fragments en tant que tels. Ce sont eux qui causent la «plasticose», une nouvelle maladie décrite tout récemment chez un oiseau marin australien, le puffin à pieds pâles, qui en engloutit de grandes quantités. «Des fragments de plus en plus petits agressent les parois de son estomac, et se retrouvent parfois incrustés entre ses cellules, où ils attirent les cellules immunitaires. Les parois de l'organe cicatrisent, entravant son fonctionnement», détaille Hayley Charlton-Howard. À présent, nous vérifions les répercussions sur l'expression des gènes et la survie de cette espèce.»

IL TRAVERSE NOTRE CORPS

La plasticose est un cas extrême. Mais en faisant une synthèse de la littérature scientifique, des chercheurs canadiens ont établi en 2019 que des centaines de milliers de microplastiques traversent nos corps chaque année, principalement par ingestion et inhalation. Et bien →

que la plupart soient éliminés dans les selles, on a déjà trouvé des nano et des microplastiques dans tous les organes lymphatiques : foie, reins, rate, nœuds lymphatiques, testicules, placenta... Depuis le sang, ils atteignent aussi le cerveau – les études animales le prouvent. « C'est à peu près tout ce qu'on sait à l'heure actuelle », s'inquiète Robert Barouki. À partir de là, est-ce qu'ils provoquent une inflammation, et ont donc des conséquences à long terme chez l'humain ? C'est probable, mais cela demeure pour l'instant une vraie question de recherche. »

VECTEUR DE POLLUANTS

Les chercheurs alertent aussi sur l'action indirecte de ces microplastiques, comme vecteurs de microbes. Des expériences toutes récentes en milieu marin confirment par exemple qu'ils peuvent véhiculer des pathogènes, comme la bactérie *Vibrio parahaemolyticus*, responsable des gastro-entérites dues aux fruits de mer. « En laboratoire, nous observons qu'elle se colle aux microplastiques de la mer, via des protéines dites adhésives, et ce d'autant plus rapidement que la température de l'eau est élevée », indique Dorota Czerucka, microbiologiste au Centre scientifique de Monaco.

PRINCIPALE INQUIÉTUDE : LES EFFETS CHIMIQUES DES ADDITIFS

On soupçonne aussi le plastique d'être vecteur de polluants, comme les métaux lourds ou les composés perfluorés, très stables sur le plan chimique et très résistants aux mécanismes de détoxification de l'organisme. « Une hypothèse est que

le plastique capte dans l'environnement ces composés perfluorés, mais ce sera très difficile à décrire, parce que le phénomène est sans doute très variable selon le type de matière plastique et selon l'endroit de la planète, explique Robert Barouki. On peut craindre que l'impact sanitaire soit catastrophique. »

LE PLASTIQUE PEUT FAIRE BAISSER LE QI

Deux classes de substances larguées par le plastique ont des effets avérés sur le neurodéveloppement : les phtalates et les retardateurs de flamme bromés. Pour ceux-ci, un taux sanguin dix fois plus élevé au cours de la grossesse est associé à un QI réduit de 4,5 points aux cinq ans de l'enfant. Au total, ce sont au moins 11 millions de points de QI perdus à l'échelle de la population de l'Union européenne, du Canada et des États-Unis. Le plastique alimente aussi la pollution aux particules fines, qui altère les fonctions cognitives des enfants.

Mais la principale inquiétude porte sur les effets chimiques du plastique. En particulier les quelque 10 000 additifs utilisés pour assouplir, colorer, résister au feu, à la lumière... Puisqu'ils ne sont pas liés chimiquement aux polymères, mais seulement incorporés dans leur masse,

ils s'échappent dans la nourriture, l'eau, l'air, le sol, et ce d'autant plus qu'ils sont exposés à la chaleur, à l'usure. Avec quels effets ? « Pour 90% des composants du plastique, les études toxicologiques font défaut. Nous n'avons au-

cune visibilité », s'indigne Philip Landrigan. Sachant que, comme le rappelle Robert Barouki, « le fœtus comme le petit enfant sont plus vulnérables, car leur organisme est en formation ; et la prépuberté avec son grand remaniement hormonal est une autre fenêtre de vulnérabilité ».

MÊME L'IMMUNITÉ

Pour les phtalates, le bisphénol A et les retardateurs de flamme bromés, des perturbations endocriniennes ont déjà été recensées, qui engendrent retards de croissance, malformations génitales et baisse de la fertilité. Elles interfèrent avec le métabolisme, affaiblissent le cœur



IL PARTICIPE À L'ÉPIDÉMIE D'OBÉSITÉ

Les phtalates et le bisphénol A sont des perturbateurs endocriniens dits obésogènes. « Ils augmentent le risque d'obésité, surtout lorsqu'ils contaminent le fœtus », explique Robert Barouki, de l'Inserm. On a vu chez l'animal que le bisphénol A diminue les neurones de la satiété, multiplie les cellules adipeuses et favorise l'accumulation de graisses. »

et les vaisseaux, entraînent des effets neurotoxiques délétères pour le développement cognitif des enfants, peut-être impliqués dans les troubles du comportement. « On s'est aussi aperçu que l'immunité est sensible à des concentrations très faibles, par exemple pour le bisphénol A », souligne Robert Barouki. Ce qui nous a amenés à baisser 20 000 fois la dose quotidienne à ne pas dépasser, calculée auparavant en prenant comme cible l'apparition de tumeurs rénales. » Philippe Landrigan

alerte : « Et d'autres composés pourraient avoir un bilan encore plus désastreux, sans qu'on le sache ! »

TESTER, CONTRÔLER...

Mais comment examiner toutes les substances sur lesquelles pèsent des soupçons ? Ce sont parfois des traces infimes, qui se combinent par milliers, avec de potentiels effets cocktail – selon l'Agence européenne de l'environnement, 100 000 substances associées au plastique sont présentes dans le commerce, des

IL FAVORISE LES MALADIES CARDIOVASCULAIRES

« C'est démontré au sein de la population américaine pour un taux élevé de bisphénol A dans le sang », rapporte Philip Landrigan, du Boston College. Et les phtalates et les polychlorobiphényles augmentent aussi la mortalité de ces maladies. Plusieurs autres composants ont des effets inflammatoires, mauvais pour le cœur et les vaisseaux.

emballages aux textiles en passant par les meubles, à un tonnage suffisant pour mériter qu'on s'y intéresse.

Des équipes de recherche tentent d'élaborer des tests capables de révéler rapidement si une substance altère tel ou tel mécanisme biologique crucial. « Il nous faut reconstruire des chaînes d'événements : si une molécule active tel récepteur, on sait qu'elle activera tel gène, produisant tel effet indésirable sur la cellule, jusqu'à l'obésité, à la maladie neurogénérate, au cancer... détaille Robert Barouki. Mais les expériences ne suffiront pas. Il nous faut aussi des modèles informatiques pour prioriser les recherches et prévoir les impacts. C'est une ambition à la hauteur des enjeux : énorme. »

Et si la responsabilité de ces enquêtes revenait aux industriels ? Quand un nouveau médicament est mis sur le marché, une batterie d'essais préalables est imposée pour s'assurer de sa sécurité, et ses effets indésirables sont surveillés. Rien de tel pour les composés des plastiques. « Je ne vois aucune raison de ne pas leur appliquer le même schéma réglementaire », pose Philip Landrigan.

La bombe à retardement est déjà amorcée : il s'agit maintenant de limiter l'ampleur de sa déflagration. FG.

L'IMPASSE DU RECYCLAGE

Les chiffres sont cruels: la France vise 100% de recyclage des emballages en plastique à usage unique d'ici au 1^{er} janvier 2025. Mais on en est loin, très loin. Le syndicat européen des producteurs de plastiques estime que sur l'ensemble des emballages plastique collectés, en 2020, seuls 27% ont été recyclés... Ce qui fait de notre pays l'un des moins bons élèves de l'Union européenne, où la moyenne était de 46%.

Depuis le 1^{er} janvier 2023, les consommateurs français ont pourtant reçu pour consigne de jeter tous leurs emballages dans la poubelle jaune destinée au recyclage (certaines communes ont même devancé

LES MÉLANGES SONT TRÈS DIFFICILES À SÉPARER

la mesure). Sauf qu'un quart, donc, serait réellement recyclé. Au maximum, sachant qu'il n'existe aucun organisme indépendant d'évaluation ou de contrôle – il faut se contenter des chiffres fournis par les industriels. Sachant aussi que, le plus

souvent, faute de capacités industrielles disponibles en France, ce recyclage est sous-traité à l'étranger, en Espagne, en Allemagne, en Belgique... questionnant au passage l'impact carbone du processus.

TOUTE UNE SÉRIE DE DÉFIS

Un bilan guère brillant donc, même si Nicolas Pont, directeur technique de Léko, l'organisme agréé par l'État pour structurer les filières de recyclage des emballages, se réjouit des progrès constatés dans le secteur. « Depuis 2018, on sent une forte volonté de fermer les centres d'enfouissement, et le parc d'incinérateurs est saturé. On se retrouve donc avec une augmentation des coûts de destruction, qui rentabilise l'émergence d'une filière recyclage. C'est ce qu'on attendait depuis des années! »

Leurre pour les uns, seule alternative viable pour les autres... Les experts interrogés ont sur le recyclage des avis aussi tranchés que contradictoires. « C'est efficace, assure Luc Avérous, professeur à l'École européenne d'ingénieurs de chimie,

polymères et matériaux de Strasbourg. *Le problème, c'est la collecte et le tri: les matières n'arrivent pas jusqu'à lui.* »

Selon Nicolas Pont, 70 à 80% des plastiques sont théoriquement recyclables. Mais pour qu'ils le soient réellement, il faudrait relever toute une série de défis. La modernisation des centres de tri, le design des produits... « C'est l'un des principaux leviers: les centres de tri doivent accueillir des nouveaux produits. Et les industriels faire en sorte que leurs emballages soient conçus pour être recyclables, mais aussi triables, un paramètre souvent oublié. »

On se heurte là à un paradoxe: pour limiter le plastique, justement, les industriels ont tendance à multiplier les produits et les emballages



mélangeant papier, carton et plastique... Or « seule la partie papier est identifiée et envoyée au recyclage. Et la partie plastique, qui n'aboutit du coup pas dans la bonne filière, est détruite », soupire Nicolas Pont.

LE CAS DU POT DE YAOURT

« Quand vous avez des mélanges, cela devient très compliqué de séparer les différentes structures », renchérit Luc Avérous. Les multicouches sont notamment omniprésents dans les emballages alimentaires, pour empêcher les échanges entre le contenu et l'extérieur. C'est le cas, par exemple, du fameux pot de yaourt en polystyrène et papier...

La question de la technique de recyclage est aussi sur la table. Aujourd'hui, il est à 90% mécanique.

Une méthode simple et peu coûteuse qui consiste à chauffer et cisailier la matière, qu'on réextrude pour obtenir un plastique plus ou moins dégradé... mais qui empêche de renouveler l'opération au-delà de quelques cycles. « On rajoute la plupart du temps un peu de matière vierge », souligne Luc Avérous. Sans compter que cette technique ne fonctionne bien que sur quelques plastiques. « Essentiellement le PET, utilisé pour les bouteilles », précise Abdelhakim Koudil, responsable du programme recyclage des plastiques à l'IFPEN, l'Institut français du pétrole Énergies nouvelles. Encore faut-il que ce PET soit transparent. Dès qu'il est opaque ou coloré, cela se complique, à cause des additifs. « Les bouteilles colorées ne seront jamais recyclées en nouvelles

43% DES PLASTIQUES DISPARAISSENT

Chaque année, en Europe, 22 millions de tonnes ne sont pas comptabilisées dans les déchets. Soit que ces plastiques restent en usage dans le bâtiment, l'automobile... Soit, surtout, qu'ils disparaissent, enfouis, jetés dans la nature. Un chiffre minimal fourni par les industriels, en l'absence d'organe de contrôle indépendant.

bouteilles », prévient l'expert. Elles finiront au mieux en fibres textiles polyester. Plutôt que de recyclage, certains experts préfèrent donc parler de « décyclage ».

Les techniques chimiques vont-elles changer la donne? Certaines entreprises s'y essaient: il s'agit de décomposer la longue chaîne →

polymère du plastique en briques petites, qu'on réassemble ensuite pour reconstruire le plastique d'origine, ou un autre, en extrayant au passage les impuretés. La société canadienne Loop Industries, par exemple, revendique décomposer du PET ou des fibres polyester pour refaire ensuite des plastiques aussi purs que la matière d'origine. « Alors que les recycleurs mécaniques ne récupèrent que les bouteilles, soit 15% du polyester, des fibres et du PET, nous, nous allons chercher les plastiques opaques, colorés, contaminés », vante Daniel Solomita, son PDG. Loop Industries prévoit

plastique. En laboratoire, ça commence à marcher, des prototypes sont en développement... « L'idéal est de s'arrêter avant la biodégradation, de faire du recyclage enzymatique qui va juste couper les polymères. Vous récupérez ensuite les molécules et utilisez la chimie pour en faire de nouveaux », décrit Luc Avérous. On pourrait attaquer un plastique multicouche directement avec un mix d'enzymes, sans avoir à séparer auparavant tous les polymères. » Oui, sauf que le vivant ne se manipule pas avec autant de facilité que l'inerte – les process sont encore loin du stade

industriel. Et surtout, les bactéries... « c'est lent, pointe Abdelhakim Koudil. Pour compenser et avoir un débit constant, il

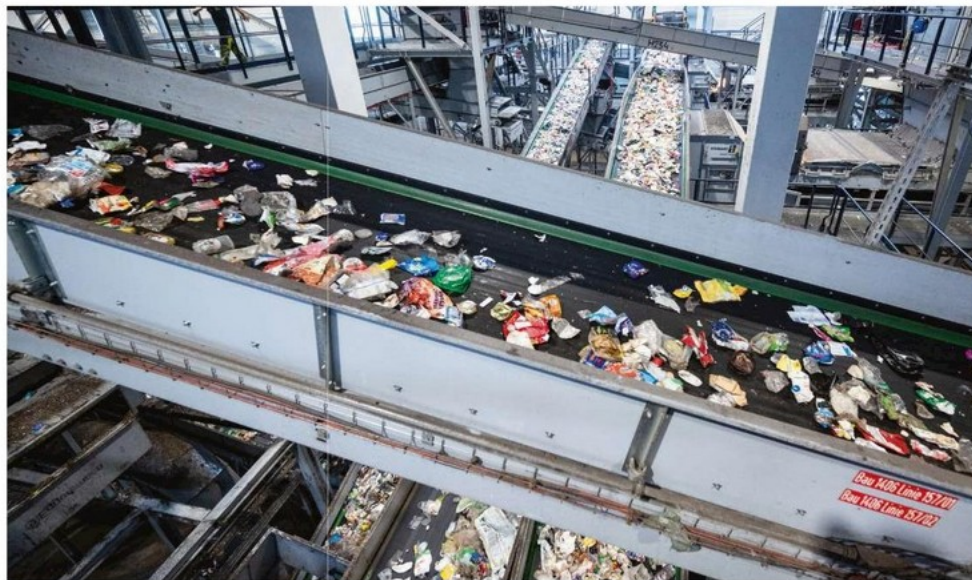
DES EFFORTS RÉDUITS À NÉANT PAR UNE CROISSANCE ÉNORME

de construire une usine en France, qui produira 70000 tonnes de résine par an à partir de 2027. De son côté, l'IFPEN met en place une première unité dans l'Ain, qui s'appuie sur des procédés comparables.

Autre piste, celle des bactéries. Dont certaines disposent d'enzymes capables de digérer les fibres du

faut des volumes gigantesques ».

À quel coût ? C'est le paramètre qui déterminera l'avenir de toutes ces solutions... « Le recyclage chimique reste plus cher que le mécanique », reconnaît Abdelhakim Koudil, qui développe des unités pilotes. Henri Bourgeois Costa, au sein de la Fondation Tara Océan, reste prudent :



« Nous n'avons aucune visibilité sur la viabilité économique des process de recyclage chimique, leur coût énergétique à l'échelle industrielle et les sous-produits générés. »

SUJET SENSIBLE

Au-delà du prix, c'est surtout la volonté des industriels d'incorporer du plastique recyclé dans leurs produits qui sera déterminante. « On peut recycler ce qu'on veut, s'il n'y a pas de débouché, ça ne sert à rien », résume Nicolas Pont.

Qu'en pensent les industriels ? Force est de constater qu'ils mettent peu d'empressement à se confier. Nos demandes d'entretien, adressées à de grands groupes agroalimentaires, se sont heurtées à des « agendas trop

chargés » ou « des délais trop courts pour organiser une interview ». Le sujet reste sensible. Une certitude : aucun ne se tirera une balle dans le pied en assumant des surcoûts que les concurrents n'auraient pas engagés. Les industriels attendent aussi que soit levé un obstacle réglementaire majeur : il est pour l'instant interdit d'utiliser du plastique recyclé autre que le PET au contact des aliments, pour éviter tout problème de contamination ou de fragilisation de la fonction barrière du plastique. « Peut-être que le recyclage chimique sera une solution, puisqu'il permet de revenir au monomère d'origine », espère Nicolas Pont.

À l'autre bout du spectre se profile déjà le problème des plastiques

8% DE LA PRODUCTION SONT ISSUS DU RECYCLAGE

Les 390,7 millions de tonnes de plastiques produites dans le monde en 2021 ont utilisé 32,5 millions de tonnes de plastique recyclé, soit 8,3 %. Un taux qui ne monte qu'à 10,1 % pour le plastique produit en Europe (5,8 millions de tonnes sur un total de 57,2).



14% DES DÉCHETS SONT RÉUTILISÉS

Sur les 25 millions de tonnes de déchets plastique collectées en Europe, seules 3,5 millions de tonnes ont été recyclées en 2020, selon le cabinet Systemiq. Mais des zones d'ombre demeurent, sachant que de nombreux plastiques passent entre les mailles.

à longue durée de vie, comme le PVC utilisé dans la construction, produits en quantités toujours plus grandes, mais dont le recyclage n'interviendra que dans plusieurs décennies.

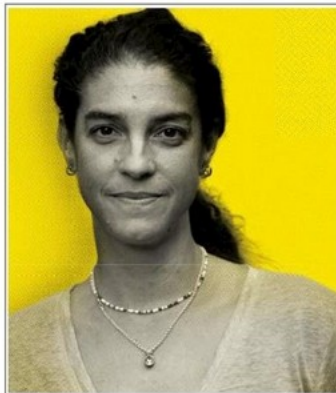
Quoi qu'il en soit, aujourd'hui, la part de plastiques recyclés dans

la production mondiale dépasse à peine 8%. Et cela ne devrait guère bouger. « Selon nos scénarios moyens, ce taux monterait en 2040 à environ 11% », rapporte Abdelhakim Koudil. Même les modèles les plus extrêmes en réglementations vertes de l'IFPEN ne grimpent pas au-delà de 30%. Or l'impitoyable tendance se poursuit – toute augmentation du PIB par habitant dans le monde se traduit par une hausse proportionnelle de la consommation de plastique. « Même si on fait plus d'efforts sur le recyclage, ils sont tout de suite dilués par cette croissance énorme », prévient le chercheur. Il ne faut donc pas se leurrer : le recyclage, à lui seul, ne fera pas le poids. **E.M.**

ET MAINTENANT

COMMENT
VIVRE AVEC ?

C'est une certitude, le plastique n'est pas près de disparaître. À tel point que certains chercheurs le mêlent au destin de l'humanité, en le proposant comme un marqueur de l'anthropocène. L'ère de l'humain est celle du plastique... Alors ? Puisqu'il faut vivre avec, comment limiter les effets de sa pollution ? Les négociations internationales commencent. Après Paris, elles vont se poursuivre à Nairobi à l'automne 2023, jusqu'à, peut-être, un traité en 2024. En attendant, les spécialistes commencent déjà à repenser le monde dans lequel nous vivons.



« Exiger plus de transparence »

BETHANIE CARNEY ALMROTH, BIOLOGISTE
À L'UNIVERSITÉ DE GÖTEBORG, EN SUÈDE

La masse de plastiques existante dépasse celle de tous les animaux de la planète. Or, les entreprises sont très peu tenues de déclarer les polymères et les additifs qu'elles utilisent dans les objets qu'elles fabriquent. Seulement 1 % des produits chimiques sont réglementés par des accords internationaux. Comme le nombre d'acteurs impliqués dans la chaîne de production est énorme, il est pratiquement impossible d'évaluer la composition des polymères sur le marché, et donc de travailler sur l'atténuation des risques. On est face à des cocktails chimiques trop complexes. Il faudrait arriver à des mesures ambitieuses et efficaces d'exigence de transparence. Les entreprises devraient déclarer ce qu'elles fabriquent, les produits chimiques qui se retrouvent dans leurs objets. Nous devrions aussi aller vers une simplification chimique, ce qui signifierait moins de polymères et moins d'additifs sur le marché, pour un meilleur suivi global.



« Installer un nouveau rapport de force entre les acteurs en jeu »

TRISIA FARRELLY,
ANTHROPOLOGUE À
L'UNIVERSITÉ DE MASSEY,
EN NOUVELLE-ZÉLANDE

Depuis les années 1950, les industriels ont détourné des quantités de plus en plus importantes de combustibles fossiles vers la production de plastiques. Il est fascinant et épouvantable pour une anthropologue d'observer que les personnes les plus puissantes à l'origine de la pollution plastique mondiale déploient un langage et des tactiques qui, non seulement maintiennent le statu quo, mais visent aussi à augmenter la production. La coopération mondiale proposée par le futur traité nous offre une occasion rare d'établir des règles du jeu équitables entre les producteurs de plastique et les autres parties prenantes. Lors des premières discussions, j'ai été particulièrement heureuse qu'il y ait autant d'interventions soutenant les connaissances autochtones et les travailleurs informels pour répondre efficacement à la crise mondiale en cours.

MASSEY UNIVERSITY - NZ



« Ne garder que les plastiques nécessaires »

RÉGIS GALVIN, DIRECTEUR DE RECHERCHE CNRS
À L'IRCP, CHIMIE PARITECH-PSL, EXPERT EN SYNTHÈSE
DE POLYMÈRES

Il a fallu des dizaines d'années pour arriver à optimiser les plastiques et leur donner ces propriétés incroyables : légers, faciles à mettre en forme, polyvalents... On n'est pas capable aujourd'hui de créer de nouveaux matériaux offrant une telle efficacité à coût compétitif et avec des critères respectueux de l'environnement. La recherche est au tout début des pistes de synthèses chimiques alternatives. Par exemple, on est capable de faire des polyesters biosourcés. Mais pour le PVC, il n'existe encore aucun substitut. En attendant d'arriver à des solutions de remplacement, il va falloir limiter l'usage du plastique aux objets pour lesquels ces propriétés sont vraiment nécessaires, par exemple dans l'industrie des revêtements ou des transports de fluides, et arrêter de l'utiliser dans des applications moins pertinentes, comme les emballages jetables. Au-delà des solutions scientifiques, le changement viendra d'une meilleure éducation du public – qui passe par la responsabilité individuelle – et de contraintes réglementaires, c'est-à-dire la responsabilité politique.

« Créer un système de traçabilité »

ABDESSELAM DAHOUN, EXPERT DE L'UTILISATION DU PLASTIQUE
SUR LE LONG TERME À L'ÉCOLE DES MINES DE NANCY

Au cours de sa vie, le plastique vieillit. Et subit, avec les variations de température et au contact de l'environnement, des agressions physiques, chimiques, mécaniques. Ce qui fait qu'au bout de dix ans, il devient moins performant et peut relarguer des additifs. Si on veut développer l'idée intéressante de faire durer, de réutiliser ou de recycler des objets en plastique plutôt que de continuer à en fabriquer sans cesse de nouveaux, il est important de connaître le cycle de vie de chacun pour savoir où il en est, en termes de qualité. On pourrait imaginer que l'industrie se réorganise et crée un système de traçabilité, comme un numéro de série qui serait intégré à chaque objet. On garderait ainsi la trace de toute l'histoire du matériau (type de polymère, date de fabrication, nom du fabricant, lieu, cycle thermique, déjà recyclé ou pas...) et on pourrait adapter le recyclage. Les fabricants automobiles le font déjà, par exemple avec les pare-chocs. Inspirons-nous de cette démarche à plus grande échelle...



« Penser en termes d'économies d'usage »

HENRI BOURGEOIS COSTA, EXPERT FRANÇAIS DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE POUR LA FONDATION TARA Océan

Le recyclage n'est qu'un élément qui ne doit pas occulter les autres ni être prétexte à continuer de mettre autant de produits jetables sur le marché. Rappelons qu'il n'est qu'un R de la fameuse règle des 3 R : réduire, réutiliser et recycler. Ces 3 R sont hiérarchiques et complémentaires. Hiérarchiques, car une politique d'économie circulaire doit privilégier la sobriété dans le recours au plastique. La réduction devrait concentrer l'essentiel de nos efforts et non rester, comme souvent, un simple exercice rhétorique. Pour chaque objet, nous devrions définir collectivement s'il est indispensable, s'il n'existe pas d'alternative plus vertueuse et si la menace que sa production, son usage et son élimination font peser sur l'environnement et notre santé est justifiée. Et une fois que l'on a défini les objets essentiels, il faut mobiliser les solutions qui permettent des usages longs : on pourrait imaginer aller vers l'accroissement des durées de garantie légale, par exemple. Des objets électriques et électroniques qui contiennent des plastiques très toxiques devraient être garantis à minima dix ou vingt ans. On pourrait aussi développer la location d'objets, plutôt que de s'orienter systématiquement vers de l'achat. Et ce n'est qu'en dernier recours, en fin de vie, que serait mobilisée la solution du recyclage. Tout cela demande des changements profonds de consommation, des modifications économiques et logistiques...

« Mieux surveiller les décharges clandestines »

CALEB KRUSE, DATASCIENTIST POUR EARTHRISE MEDIA, AUX ÉTATS-UNIS

On dit souvent qu'on ne peut pas gérer correctement ce que l'on ne peut pas mesurer. Depuis trop longtemps, nous savons que les déchets plastique s'infiltrent partout, mais il est difficile d'en connaître la source et de quantifier cette pollution. Avec mon laboratoire, nous avons développé un système d'intelligence artificielle qui scanne de grandes quantités d'images satellites et identifie les décharges tout en surveillant leur évolution. Nous avons ainsi documenté plus de 4000 sites dans le monde, certains autorisés, d'autres clandestins, dont 12% sont situés à moins de 100 mètres de cours d'eau, ce qui présente un gros risque de fuite. Ce serait sûrement une bonne idée d'étendre cette technologie. Cet outil pourrait être utilisé par les décideurs et les ONG pour améliorer la gestion des déchets plastique.

« Faire du plastique un marqueur de l'anthropocène »

SIMONE LECHTHALER, CHERCHEUSE EN GESTION DE L'EAU À L'UNIVERSITÉ D'AACHEN, EN ALLEMAGNE

Il y a un consensus scientifique sur le fait que les plastiques dans l'environnement sont un indicateur visible de la nouvelle époque géologique, caractérisée par les activités humaines. En raison de leur persistance, la présence de plastique dans l'environnement pourra être détectée très facilement à l'avenir, en particulier dans les dépôts sédimentaires fluviaux non perturbés. Cela fait de ce matériau un très bon marqueur stratigraphique. Ce qui pourrait contribuer à sensibiliser le public et à conduire à des actions politiques.

FANNY DE BIEN

HORS-SÉRIE



En vente chez votre marchand de journaux

LA GÉNÉTIQUE AU CŒUR

Par PHILIPPE AMOUEL et HÉLOÏSE CHOCHOIS
médecin à l'échelle internationale, autrice spécialisée
spécialiste de la génétique dans la vulgarisation scientifique

« Une histoire qui nous plonge au cœur des bons et des mauvais côtés de la génétique sans détours et avec humour. »
FUTURA

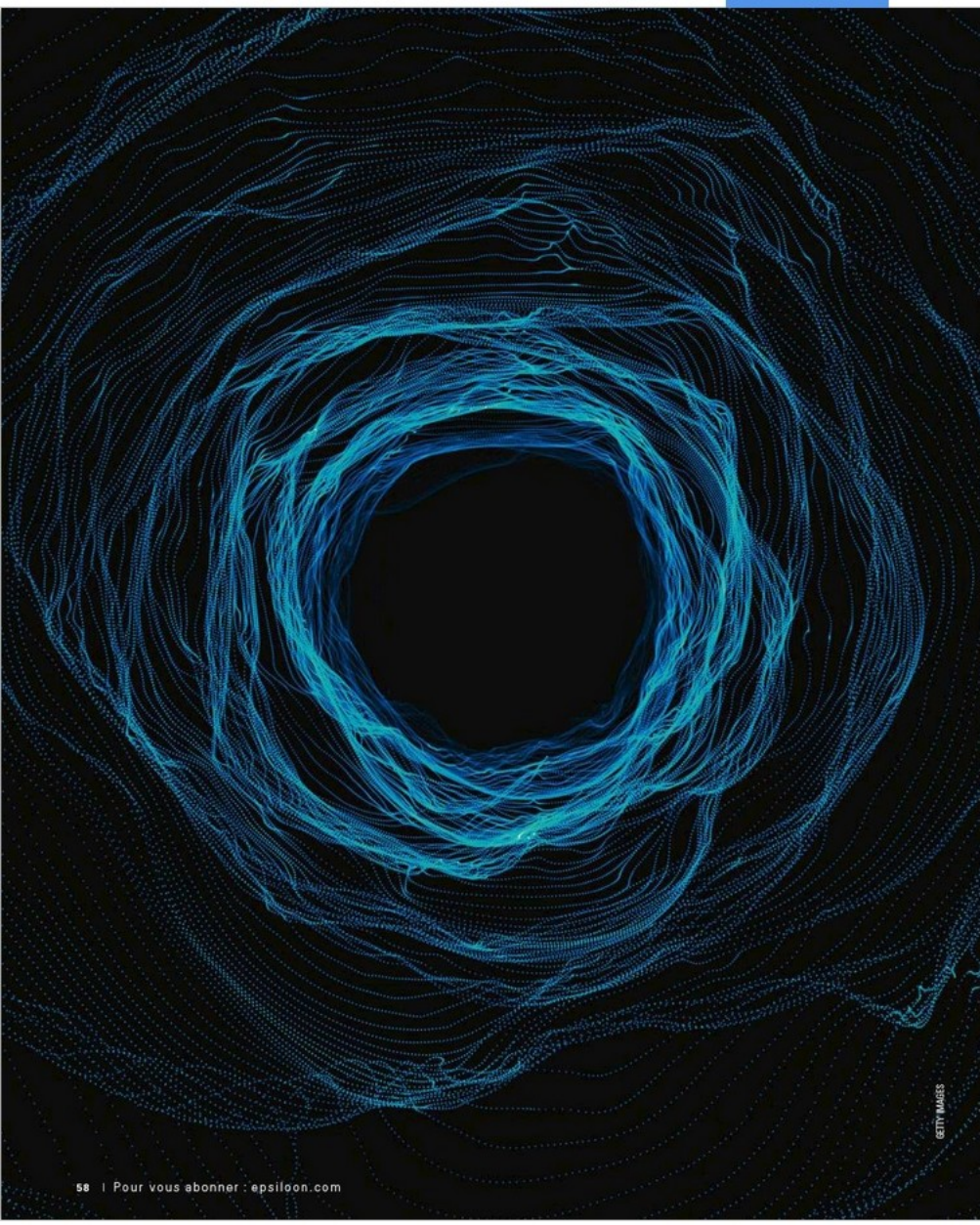


Une enquête fictionnelle en BD pour décrypter et comprendre les enjeux médicaux, sociétaux et politiques de la génomique récréative !

Une jeune femme annonce à son père généticien qu'elle a fait tester son ADN sur internet, bien que ce type de test génétique soit interdit en France.

Ressentant un certain malaise chez sa fille quant aux résultats obtenus, le chercheur entreprend de lui expliquer les apports et les conséquences de la génétique, ses applications et ses dangers à l'heure d'un monde globalisé où les algorithmes influencent une grande partie de nos vies.

DARGAUD AU RAYON BANDE DÉSSINÉE



PLUS VIEUX QUE L'UNIVERS

*Et si des trous noirs
avaient pu survivre
au big bang...*

PAR MATHILDE FONTEZ

GETTY IMAGES

Un objet plus vieux que l'Univers? Né avant le big bang? Allons, un peu de sérieux... L'hypothèse semble tout bonnement impossible. Paradoxe, même. L'Univers n'est-il pas, par définition, la totalité de notre monde? Le big bang n'est-il pas le début de tout ce qui existe? « Il faut se placer dans un cadre théorique particulier, sourit Bernard Carr, à l'université de Londres. Dans l'hypothèse d'un Univers cyclique, où le big bang serait un rebond, le début d'un nouveau cycle d'expansion de l'Univers. Et dans ce cadre, oui, des trous noirs pourraient alors le traverser... »

TROP MARGINALE, EXOTIQUE, ICONOCLASTE...

Cette idée, le physicien anglais la travaille depuis près de cinquante ans. « Elle m'accompagne depuis le début de ma carrière, alors que les trous noirs n'avaient pas encore été découverts, raconte-t-il. Ce n'est que depuis quelques années qu'elle commence à intéresser vraiment la communauté. » Car même si elle est portée par des physiciens prestigieux – c'est avec Stephen Hawking que Bernard Carr est parti à la recherche de ces objets plus vieux que l'Univers –, l'idée est longtemps jugée trop marginale, trop exotique, trop iconoclaste. Mais faut-il s'en étonner?

D'abord parce qu'elle se focalise sur les trous noirs, un objet longtemps resté hautement spéculatif, « une solution de la relativité générale à laquelle personne ne s'intéressait vraiment ». Ensuite, parce que l'hypothèse de départ vrille le concept: ces objets si denses qu'ils absorbent tout, même la lumière, on les imagine forgés lorsque de grosses étoiles arrivées à court de carburant explosent, puis se contractent sur elles-mêmes. Mais Hawking et Carr pensent une autre genèse: et si de tels astres sombres pouvaient se former spontanément, sans passer par la case étoile? « Nous n'avons pas envisagé tout de suite qu'ils puissent être plus vieux que l'Univers. Nous avons calculé qu'ils pouvaient se former dans les fluctuations de matière, une seconde après le big bang, avant la naissance des particules, raconte le physicien. On a fait les calculs et on a vu que ça

pouvait marcher: les fluctuations s'effondrent en trous noirs assez naturellement. »

Contrairement à leurs cousins issus d'étoiles, de tels « trous noirs primordiaux » pourraient avoir n'importe quelle taille. Alors que les premiers doivent peser au moins 1,4 masse solaire – en dessous, l'astre ne s'effondre pas –, les seconds pourraient peser un gramme. Ou des dizaines de fois la masse du Soleil... « La seule contrainte est observationnelle, précise Bernard Carr. Si des trous noirs plus petits que mille tonnes se sont formés, ils se sont déjà évaporés. » En revanche, des trous noirs de la masse d'une montagne pourraient encore flotter un peu partout dans l'Univers.



« C'EST UNE IDÉE DOUBLEMENT SPÉCULATIVE : IL FAUT POSTULER UN UNIVERS CYCLIQUE, ET IL FAUT QUE LES TROUS NOIRS PRIMORDIAUX EXISTENT. MAIS ELLE EST INCROYABLEMENT EXCITANTE ! »

Bernard Carr, physicien à l'université de Londres

Au début, donc, personne n'y croit... Sauf que le concept de trou noir, peu à peu, gagne ses galons de réalité. Et des observations sèment le doute. Il y a d'abord cette mystérieuse matière noire, cette substance invisible censée constituer 85% de la matière de l'Univers. « Une grosse inconnue, convient Gabriele Franciolini, à l'université Sapienza de Rome. On a longtemps cru pouvoir l'expliquer avec de nouvelles particules... Sauf qu'on n'a rien trouvé. On s'est donc mis à penser de plus en plus aux trous noirs primordiaux pour la constituer. »

ILS ONT RÉPONSE À TOUT

Il y a aussi la découverte des ondes gravitationnelles, en 2015. Pour la première fois, les trous noirs sont observés directement, via les tremblements qu'ils provoquent dans l'espace-temps... « Les premiers qu'on a trouvés sont plus massifs qu'on ne l'avait anticipé, pointe Sébastien Clesse, spécialiste du sujet à

l'université libre de Bruxelles. On s'est mis à considérer les trous noirs primordiaux comme une option pour expliquer cela. » Et les dizaines de fusions de trous noirs qui ont été recensées depuis ont augmenté la tension: « Ils semblent tourner très lentement sur eux-mêmes. Les observations ne sont pas encore assez précises pour être sûrs, mais elles suggèrent une rotation proche de zéro », décrit Vincent Vennin, à l'École normale supérieure de Paris. Or, normalement, les trous noirs issus d'une étoile doivent avoir une rotation rapide... »

Et il y a les trous noirs supermassifs. « Avec les modèles classiques, on a du mal à fabriquer des trous noirs aussi gros →

que ceux qu'on observe au centre des galaxies, explique Gabriele Franciolini. On ne comprend pas comment ils ont pu accumuler autant de matière. » « Le problème s'accroît quand on sonde l'Univers très lointain : on voit des groupes de galaxies formés bien plus tôt qu'on le pensait, avec de gros trous noirs en leur centre. Comment ont-ils grossi en si peu de temps ? », interroge Priyavada Natarajan à l'université Yale. Dernier exemple en date : le télescope James-Webb a découvert il y a quelques semaines un trou noir qui pèse presque trois fois plus que celui qui trône au centre de notre galaxie... alors qu'il n'est qu'à 570 millions d'années du big bang. « Les trous noirs primordiaux unifient avec élégance les deux questions difficiles sur lesquels je travaille : la matière noire, et la croissance des trous noirs – ça les résout d'un seul coup ! », s'exclame Priyavada Natarajan.



JUSTE UN REBOND...

Et ce n'est pas tout : disparition de l'antimatière, problème des galaxies naines périphériques, observations étranges en direction du centre galactique... « J'ai recensé vingt observations qui pourraient être expliquées par les trous noirs primordiaux », annonce Sébastien Clesse. Conséquence logique : ces objets venus du fond des âges sont étudiés avec de plus en plus d'attention. « Avant 2015, il y avait quelques dizaines d'articles par an sur les trous noirs primordiaux. Maintenant il y en a des centaines ! », s'émeut Bernard Carr. Et tout cet enthousiasme a déclenché la discussion sur les trous noirs venant d'univers précédents, dans le cadre d'une cosmologie cyclique. »

Nous y voilà... Certes, ce modèle d'Univers cyclique n'est pas dominant aujourd'hui.

LES TROUS NOIRS PRIMORDIAUX SONT LA RÉPONSE LA PLUS ÉCONOMIQUE AU MYSTÈRE DE LA MATIÈRE NOIRE

La majorité des spécialistes décrivent un big bang qui a tout forgé d'un coup : temps, matière, espace. Mais cette singularité pose problème, car elle est impossible à décrire : au moment zéro, toutes les valeurs physiques s'envolent vers l'infini. Cosmologie des cordes, gravitation quantique à boucles... de nombreuses théories alternatives à la physique standard imaginent donc que le big bang est en fait un rebond : le début d'un nouveau cycle, après que le Cosmos s'est contracté jusqu'à une taille minuscule – de l'ordre de 10^{-36} centimètres. « Même dans les modèles classiques, on peut ajouter des termes supplémentaires qui produisent un rebond », ajoute Bernard Carr.

Le physicien a été le premier à faire les calculs : il a placé un réseau de trous noirs dans un rebond, regardé ce qui se passe. Et la réponse est claire : « Il existe des solutions exactes dans lesquelles plusieurs trous noirs persistent à travers les époques successives d'une cosmologie cyclique. » Depuis, les travaux s'enchaînent. « Certains de ces trous noirs sont quand même un peu

malmenés par le rebond, mais cela semble passer », observe Vincent Vennin. En 2022, au Perimeter Institute, au Canada, la physicienne Maxence Corman le démontre, en se concentrant sur un unique trou noir placé dans un rebond : « Les régions proches du trou noir sont perturbées. Pendant la phase de contraction, l'horizon cosmologique et le trou noir fusionnent et cessent d'exister... Mais c'est bref ! Ensuite, les deux horizons se séparent et on retrouve le trou noir dans l'univers en expansion, avec une masse similaire à sa valeur initiale. »

VERTIGINEUX

Et voilà comment toute une communauté s'est mise en quête de ces astres nés avant le big bang. « Cette idée est loin d'être aussi folle qu'elle paraît », souligne la théoricienne Francesca Vidotto, à la Western university, au Canada. Ces trous noirs rémanents pourraient expliquer pourquoi l'entropie de l'Univers était si basse au début. »

Ces objets venus de l'avant-monde ouvrent également des vertiges thermodynamiques. « On pourrait s'attendre à ce que le nombre de trous noirs augmente à chaque cycle, et que l'entropie augmente

ILS AURAIENT ACCÉLÉRÉ LA FORMATION DES GALAXIES

ILS POURRAIENT EXPLIQUER L'ÉCOULEMENT DU TEMPS DANS L'UNIVERS

à chaque fois avec eux », souffle Bernard Carr. Ils pourraient même structurer notre monde, ajoute Vincent Vennin : « On pensait que lors du rebond, tout ce qui existe est écrasé, que le rebond fait tout oublier. Mais si des trous noirs peuvent survivre, c'est une ossature de la structure de l'Univers qui perdure... » Comme une sorte d'information cosmique qui se propagerait d'un univers à l'autre, et déterminerait dans le cycle suivant où va s'annoncer la matière.

Certes, cela reste une idée. Aucun télescope n'a prouvé l'existence des trous noirs primordiaux – la nouvelle série de mesures des détecteurs d'ondes gravitationnelles qui débute concentre les espoirs. Et il est pour l'instant difficile d'imaginer une observation qui puisse prouver que de tels astres proviendraient d'un univers précédent. Sachant que rien ne démontre non plus clairement que notre Univers est cyclique...

Mais l'idée est là, jugée aujourd'hui « magnifique », « fantastique », « fascinante » : il existe peut-être autour de nous des objets plus vieux que l'Univers...

NOS SOURCES

Yi-Fu Cai & al., *Arxiv* (2023), R. L. Larson & al., *Astrophys J Lett* (2023), M. Corman & al., *J Cosmol Astropart Phys* (2022), C. Rovelli et F. Vidotto, *Universe* (2018), T. Clifton, *Classical and Quantum Gravity* (2017). Retrouvez toutes nos sources sur [epsiilon.com](https://www.epsiilon.com/)/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par [epsiilon](https://www.epsiilon.com/).

Engins autonomes guidés par satellites, techniques d'impression 3D dopées à l'intelligence artificielle... La Chine s'apprête à lancer la construction d'un barrage sans main-d'œuvre. Une première.

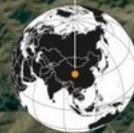
PAR ALINE NIPPERT

LE PREMIER GRAND CHANTIER SANS HUMAINS

Le barrage que la Chine prévoit d'élever dès l'année prochaine sur le fleuve Jaune, dans la province du Qinghai, ne surpassera ni en taille ni en puissance les records déjà détenus par le pays. Avec ses 180 mètres de hauteur (tout de même!), il restera loin des 305 mètres de celui de Jinping I. Et malgré les centaines de millions de mètres cubes d'eau retenus, il ne développera pas plus de 1,2 gigawatt, soit la puissance d'un réacteur nucléaire de deuxième génération, bien en deçà des 22,5 gigawatts du barrage des Trois-Gorges.

Pourtant, si les promoteurs de ce projet chapeauté par l'entreprise publique d'électricité State Power Investment Corporation tiennent leurs promesses, la future centrale hydroélectrique de Yangqu marquera l'histoire des grands chantiers. Car cet énorme amas de roches et d'argile, qui doit barrer la route du deuxième plus long fleuve de Chine, sera construit sans main-d'œuvre humaine, uniquement à l'aide d'engins de chantiers autonomes, guidés par satellites, et de techniques dérivées de l'impression 3D, dopées à l'intelligence artificielle. Du jamais vu!

Le barrage Yangqu coupera le fleuve Jaune, dans la province du Qinghai, au nord-est du plateau tibétain.



«L'ère de l'utilisation de la technologie d'impression 3D dans la construction intelligente est venue!», s'enthousiasme Liu Tianyun. Dans l'article scientifique qu'il a publié il y a deux ans, ce chercheur associé au Laboratoire d'ingénierie hydraulique de l'université de Tsinghua, basée à Pékin, décrit en détail les technologies prévues pour inaugurer cette «impression 3D de grands projets de construction par remblai».

Techniques qui visent donc, en premier lieu, à supprimer l'humain de l'équation. «Cela peut surprendre, mais la population chinoise décline rapidement. Ce type de chantier entièrement automatisé est promu par le gouvernement pour prévenir le futur manque de main-d'œuvre», situe Kenneth Pomeranz, historien à l'université de Chicago. «Cela pourrait aussi limiter les erreurs humaines ainsi que les risques d'accidents liés au trafic routier, fréquents sur les chantiers de grands barrages», complète Jean-François Coste, membre de l'Association des ingénieurs et scientifiques de France.

CHORÉGRAPHIE IDÉALE

Comme pour n'importe quel objet à imprimer en 3D, le projet Yangqu part d'un modèle numérique stratifié. «La fabrication additive correspond au dépôt de couches successives à partir d'un modèle numérique découpé en couches horizontales», explique Jean-Daniel Penot, enseignant-chercheur au CESI École d'ingénieurs. La version numérique du barrage a ainsi été conçue par empilement de roches concassées qui seront déposées, strate par strate, à travers un bras du fleuve.

«Il ne s'agit pas de déposer de la matière extrudée, couche après couche, à l'aide d'une buse, comme c'est habituellement le cas en impression 3D», souligne cependant Hélène Chanal, chercheuse à l'école d'ingénieurs Sigma Clermont. Liu Tianyun prévoit le recours à des engins de chantier sans pilote, guidés par satellites. Des camions-bennes sans conducteur qui se remplissent de blocs de roche dans une carrière locale; puis se dirigent vers le site de construction, où ils déversent les matériaux à l'endroit et selon l'épaisseur prévus; des bulldozers qui leur emboîtent automatiquement le pas pour étaler la caillasse; avant que des rouleaux compresseurs robotisés ne compactent le tout. Et le bal robotique en quatre actes se répète jusqu'à la hauteur voulue. «Les engins seront pilotés sur le site via leurs coordonnées GPS et déposeront la matière à partir des valeurs préprogrammées déduites de la maquette numérique», decode Benoît Furet, chercheur au Laboratoire des sciences du numérique de Nantes.

«Pour moi, c'est un abus de parler d'impression 3D. C'est plutôt un cas d'automatisation des process et des équipements», corrige Mario Oertel, professeur en ingénierie hydraulique à l'université Helmut-Schmidt de Hambourg. Peut-être. Reste que la technique pourrait bien permettre d'atteindre l'objectif ciblé. «Sur ce projet, il n'y aura peut-être besoin que

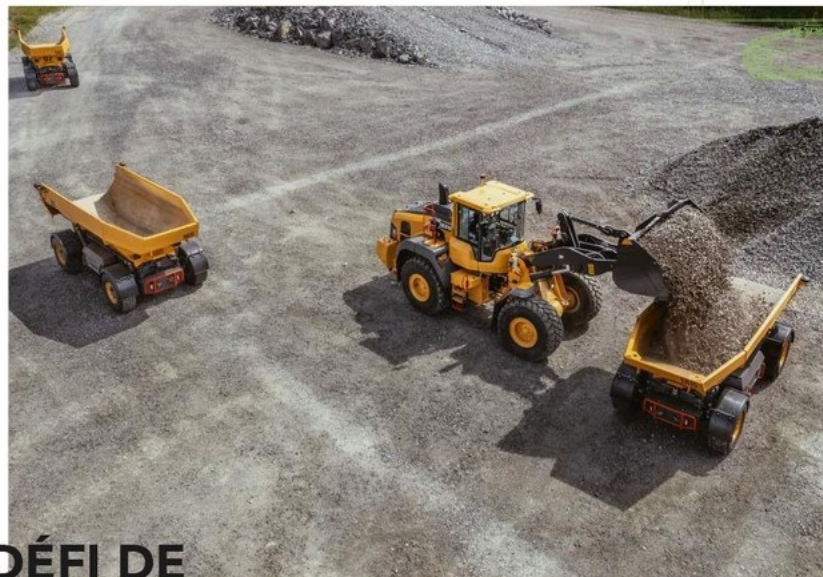
LE DÉFI DE LA POUSSIÈRE

Pour qu'un robot puisse circuler tout seul sur un chantier, encore faut-il qu'il y voie quelque chose ! Or, sur un tel site de construction, les tonnes de roches concassées, transportées, déversées et compactées génèrent une poussière omniprésente. Un casse-tête pour les caméras de guidage, ainsi que les capteurs et les radars à l'intérieur desquels elle s'infiltré.

d'une centaine de personnes, pour excaver les matériaux. Alors que traditionnellement, un barrage en remblai de cette ampleur nécessite le travail d'un millier d'ouvriers», évalue Anton Schleiss, président honoraire de la Commission internationale des grands barrages.

TRÈS AMBITIEUX

Cette approche devrait aussi permettre d'optimiser la consommation de matière et la distance parcourue par les véhicules – les deux principaux postes de consommation d'énergie pour un tel chantier. Car l'ensemble de la chorégraphie sera orchestré par des algorithmes d'intelligence artificielle qui optimiseront les quantités à transporter, ainsi que les trajectoires et la synchronisation. Ce qui devrait, in fine, réduire également l'impact du chantier sur



LE DÉFI DE LA GÉOMÉTRIE VARIABLE

Il n'y a pas de secret : pour se passer de conducteur, un véhicule doit connaître avec précision la route à parcourir, les distances, les virages, le type de revêtement... Alors qu'en prenant forme, le barrage modifie en permanence la configuration du site, les itinéraires et les distances à parcourir. Sans compter les aléas météo qui peuvent subitement rendre certains accès impraticables.

l'environnement. «C'est l'un des intérêts majeurs du recours à la fabrication additive dans le domaine de la construction», appuie Alban Mallet, PDG de la start-up française XtremeE, spécialisée dans l'impression 3D en béton.

Le scénario est tout de même jugé ambitieux par les spécialistes. «Les seuls véhicules de chantier autonomes opérationnels aujourd'hui travaillent sur des tâches très simples comme le transport de matériaux. Des start-up développent bien des bulldozers autonomes, mais elles n'en sont pas encore au stade du déploiement», pointe Gregorio Ameugo, chef du département Intelligence ambiante et systèmes interactifs à l'Institut List du CEA. Avec sa poussière et sa géométrie qui évolue sans cesse, un tel chantier constitue un environnement hautement critique pour des véhicules autonomes. «Pour des raisons de sécurité, le robot va s'arrêter à chaque fois qu'il détecte un obstacle. Même s'il s'agit d'un simple sac en plastique qui flotte dans l'air!», présume Gregorio Ameugo.

Quelles solutions pour relever ces défis? Liu Tianyun n'a pas répondu à nos questions. «Il vaudrait mieux échanger lorsque le barrage aura pris forme. Or, le projet avance doucement à cause de l'épidémie», transmet son organisme de tutelle, l'université de Tsinghua. «Il n'est pas rare que des projets soient annoncés en Chine, puis qu'ils fassent finalement un peu autrement...», tempère Benoît Furet. C'est vrai. Mais il n'est pas rare non plus que la Chine nous surprenne.

NOS SOURCES

Liu Tianyun, *Journal of Tsinghua University* (2022). Retrouvez toutes nos sources sur [epsilonon.com/sources](https://www.epsilon.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*, à l'exception de celle de Liu Tianyun, extraite de sa publication.

PAR VINCENT NOUYRIGAT

pour capter l'impalpable « moi » non-humain ?
quand le gorille échoue. Et s'il fallait inventer de nouveaux tests
le célèbre test du miroir se brouille peu à peu. Le poisson labre le réussit...
longtemps valeur étalon pour évaluer la conscience animale,

face au test du miroir

Longtemps valeur étalon pour évaluer la conscience animale,
le célèbre test du miroir se brouille peu à peu. Le poisson labre le réussit...
quand le gorille échoue. Et s'il fallait inventer de nouveaux tests
pour capter l'impalpable « moi » non-humain ?

PAR VINCENT NOUYRIGAT

GETTY IMAGES

mm



Les manchots et les guêpes semblent troublés par leur reflet

iroir, mon beau miroir, dis-moi qui est le plus... intelligent? Le test du miroir est aujourd'hui un passage obligé en éthologie. L'examen couperet sur lequel se joue la réputation de chaque espèce animale. Manchots, poissons, chevaux, perroquets, corbeaux... Les scientifiques les ont tous confrontés à leur reflet. Verdict? Passé la première curiosité, ou l'animosité, certains spécimens, visiblement troublés face à leur image, commencent à explorer leur corps de manière inhabituelle, tentant même de retirer la marque colorée que les chercheurs ont pris soin d'apposer sur leur front – ou sur tout autre endroit inaccessible à leur champ de vision. Tiens, mais c'est moi, c'est bien moi!, semblent-ils comprendre, à la manière des enfants humains placés vers l'âge de deux ans devant une glace.

L'ÉLITE CÉRÉBRALE

« Ces animaux démontrent alors qu'ils ont la capacité à devenir l'objet de leur propre attention », énonce Gordon Gallup, psychologue évolutionniste à l'université d'Albany, aux États-Unis, qui a mis au point ce test en 1970. Le miroir, cet objet artificiel sans réel équivalent dans la nature, semble être un révélateur simple et efficace de la conscience de soi chez les animaux. Un outil efficace pour déterminer quelles créatures sont douées d'une intelligence incarnée, de pensées subjectives, d'empathie, et sans doute d'un rapport particulier au temps, voire à la mort. Bref, réussir ce test revient à intégrer l'élite animale, quand un échec vous relègue dans la plèbe.

Mais est-ce si sûr? Ce grand standard de la biologie provoque actuellement des débats enflammés. À ce jour,

Gordon Gallup ne reconnaît que « trois espèces pour lesquelles on dispose de preuves expérimentales rigoureuses et reproductibles de reconnaissance dans le miroir: l'être humain, le chimpanzé et l'orang-outan, qui tous descendent d'un ancêtre commun ». Quelques dauphins, des pies bavardes ainsi qu'un éléphant du zoo de New York se sont montrés sensibles aux marques posées sur leur corps, mais « ces résultats ont été impossibles à répliquer », gronde Gordon Gallup.

« Les comportements repérés ne sont souvent pas convaincants, et certains scientifiques ont tendance à accorder le bénéfice du doute à leur espèce préférée », tance à son tour

Les chimpanzés adorent se mirer

James Anderson, psychologue à l'université de Kyoto. C'est peu dire que ces gardiens du temple ont accueilli fraîchement les dernières annonces de validation du test du miroir par des chevaux, ou pis, des manchots... « Ceux que nous avons testés en Antarctique adorent regarder leur image dans le miroir », témoigne pourtant Azizuddin Khan, de l'Institut indien

de technologie, à Bombay; tout comme les guêpes, selon une autre étude récente. Ces orthodexes ont même sûrement failli s'étrangler face à la réussite des labres nettoyeurs, une espèce de poissons tropicaux. Une fois exposées à leur reflet, ces minuscules créatures sont en effet capables de se reconnaître sur une photo. « Nous avons réuni les preuves irréfutables que ces poissons ont une conscience de soi, et qu'ils passent par les mêmes stades que les humains! », avance Masanori Kohda, chercheur en sociologie animale à l'université d'Osaka.

UNE QUESTION D'ANATOMIE ?

« Cette étude est assez incroyable, leurs résultats sont presque meilleurs que ceux obtenus sur des grands singes au cerveau beaucoup plus gros, c'est vraiment remarquable », souffle Frans de Waal, célèbre primatologue à l'université d'Emory, aux États-Unis. Remarquable, mais aussi franchement étrange dans la mesure où beaucoup d'autres animaux reconnus comme très intelligents, sociaux et sensibles échouent au test. À l'image des macaques, des singes capucins, des babouins, des pieuvres, des cochons, des chiens, des chats, des rats... Mais aussi, selon deux études récentes, les si géniaux perroquets gris, les corbeaux freux, les pies à ailes azurées et les corneilles noires. Plus révoltant encore, une analyse parue l'année dernière confirme l'échec cuisant des gorilles. C'est à ne plus rien y comprendre...

Comment interpréter de tels résultats? Les poissons et les manchots seraient-ils finalement plus sophistiqués que les gorilles et les corbeaux? Quelques animaux seulement auraient-ils été touchés par la grâce du « moi, je »? À moins que le problème ne vienne de ce test iconique, cet étalon-or du comportement animal, indéboulonnable depuis cinquante ans...

Au-delà des querelles méthodologiques sans fin, « il faut noter, pour des raisons encore peu claires, l'énorme variabilité des comportements selon les individus d'une même espèce », relate Lisa-Claire Vanhooland, comportementaliste à l'université de Vienne. Plus que jamais, avec ce test, l'absence de preuve n'est pas la preuve de l'absence. « Il n'est pas toujours évident de savoir si ceux qui ne montrent aucun signe le font parce qu'ils ne se reconnaissent pas dans le miroir, ou parce qu'ils ne se soucient tout simplement pas de voir leur propre image... bien qu'ils puissent la reconnaître », avoue James Anderson. Il faut dire que le test de la marque posée sur le corps favorise les espèces qui pratiquent le toilettage social, comme les chimpanzés ou les labres nettoyeurs. « Il est possible que ces marques ne soient pas considérées comme pertinentes par les éléphants qui sont souvent recouverts de boue », soulève Joshua Plotnik, à l'université de Columbia. Par ailleurs, les gorilles ont naturellement

Les poissons labres se reconnaissent

tendance à fuir le regard de leurs comparses pour éviter de provoquer des conflits, ce qui ne facilite pas, miroir en main, la tâche des éthologues. Sans oublier que le comportement des animaux dépend aussi beaucoup de leur anatomie « Gordon Gallup reproche aux chevaux de ne pas réagir comme les chimpanzés face à une glace, mais c'est ignorer les spécificités de leur système visuel », défend Chiara Scopa, neuroscientifique à l'université de Parme. De plus, « ce test a été conçu pour des créatures visuelles... Les chiens ont une bonne vision, mais ils évoluent avant tout dans un monde olfactif, qui nous échappe pour l'essentiel », analyse Alexandra Horowitz, du Barnard College, à New York.

Cette psychologue a justement mis au point une version olfactive de l'épreuve : « Les chiens ont été exposés à leur propre odeur marquée par une deuxième odeur, le fait qu'ils se soient particulièrement attardés sur ce mélange montre une forme de reconnaissance de soi. »



Les gorilles ne peuvent pas se regarder en face

physiologiques des animaux et, si possible, avoir recours à l'imagerie cérébrale ». D'après Masanori Kohda, il suffirait de trouver le bon stimulus : « Le marqueur que nous avons utilisé pour le poisson labre nettoyeur ressemble à un parasite, si les chercheurs trouvent un signe écologiquement pertinent, je suis persuadé que presque tous les vertébrés passeront le test du miroir. »

En tout cas, la plupart des biologistes s'accordent sur le fait que cette conscience de soi a pu émerger de manière graduelle au sein de diverses lignées phylogénétiques ; et non pas d'un seul bloc comme le laisse supposer le test du miroir. Dès lors, ces briques plus ou moins élémentaires de subjectivité seraient largement partagées. Même si, avertit

Beaucoup d'autres chercheurs s'évertuent en ce moment à briser l'hégémonie du fameux test ; « un test très anthropocentré, pour lequel les auteurs semblent à tout prix vouloir maintenir une sorte de supériorité qualitative des grands singes et de l'humain », persifle Gordon Burghardt, à l'université du Tennessee, qui a élaboré un test de reconnaissance chimique pour les serpents. « Il faudrait trouver un moyen adéquat d'évaluer le niveau de conscience des insectes et autres invertébrés », milite Amy Toth, entomologiste à l'université d'État de l'Iowa. « Il serait temps de se débarrasser de nos œillères et de prendre enfin en compte les caractéristiques anatomiques, physiologiques et comportementales des espèces testées, lâche Chiara Scopa. C'est un sujet très brûlant dans la communauté scientifique, nous allons devoir établir de nouveaux paradigmes expérimentaux. »

UN DÉNI COGNITIF

Afin de remplacer ou compléter ce sacro-saint test, « il nous faudra être créatifs pour trouver d'autres méthodes, en faisant peut-être appel à l'intelligence artificielle ou à des avatars virtuels », propose Lindsay Murray, spécialiste des gorilles à l'université de Chester, en Grande-Bretagne. James Anderson reconnaît qu'il serait « fructueux d'essayer d'autres approches, comme l'utilisation de la vidéo qui permet de régler certains problèmes posés par le miroir. On pourrait aussi mesurer les réponses

GETTY IMAGES - SHUTTERSTOCK



Les éléphants n'en ont rien à faire

James Anderson, « l'attribution trop facile de "conscience de soi" fait peser le risque d'un déni des différences cognitives entre espèces et d'une dévalorisation de cette faculté ». « Moi, je considère que tous les animaux sont conscients d'eux-mêmes au moins dans une certaine mesure », assène Frans de Waal. « Cela aurait beaucoup de sens pour les guêpes que j'étudie, notamment pour qu'elles puissent se situer dans la hiérarchie sociale de leur colonie », appuie Amy Toth.

IMPALPABLE SUBJECTIVITÉ

Une étude hongroise a récemment établi que, à défaut de satisfaire au test classique du miroir, les chiens, petits ou gros, avaient conscience des dimensions de leur corps – ce qui paraît, certes, la moindre des choses. « Au lieu de se focaliser sur l'existence d'éventuelles capacités supérieures, qui prêtent à beaucoup d'interprétations biaisées, je pense qu'il faut se concentrer sur les besoins écologiques des espèces étudiées, les forces de sélection à l'œuvre sur leur modèle mental de représentation de soi », assène Rita Lenkei, éthologue à l'université Eotvos

Lorand. Les chiens échouent peut-être au test du miroir, il n'empêche qu'ils sont parfaitement adaptés à leur environnement et qu'ils nous réservent beaucoup de résultats intéressants. »

Charge aux futurs tests cognitifs de parvenir à capter cette impalpable subjectivité animale dans toutes ses dimensions, ce « moi » non-humain qui, au fil de l'évolution, est possiblement allé jusqu'à l'introspection ou la coquetterie. À l'image peut-être de ces quelques grands singes qui semblent soigner leur apparence en se mettant des feuilles de laitue sur la tête, en s'insérant de l'herbe dans les oreilles ou en se promenant avec la peau d'un singe tué autour du cou... Miroir, mon beau miroir, finalement, dis-moi qui est le plus beau ?

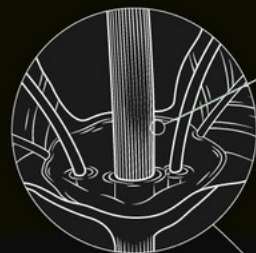
NOS SOURCES

Masanori Kohda et al., *PNAS* (2023) ; Lindsay Murray et al., *Animal Cognition* (2022) ; Lisa-Claire Vanhooland et al., *Animal Cognition* (2022). Retrouvez toutes nos sources sur epsilon.com/sources. Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*.

CETTE PLANTE ELEVE DES BACTERIES !

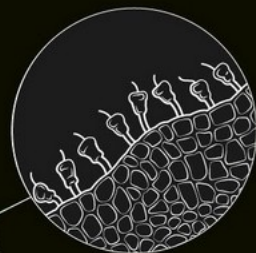
L'hypothèse est fascinante: la cardère sauvage élèverait des bactéries et se nourrirait de leur manne grâce à de mystérieux filaments mobiles. Ce qui serait une grande première dans le monde végétal.

PAR JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS



La plante forme des réservoirs d'eau

Chaque paire de feuilles forme un creuset pouvant recueillir jusqu'à 250 ml d'eau. Une flore bactérienne aquatique s'y développe, plus riche que celle des lacs ou des océans !



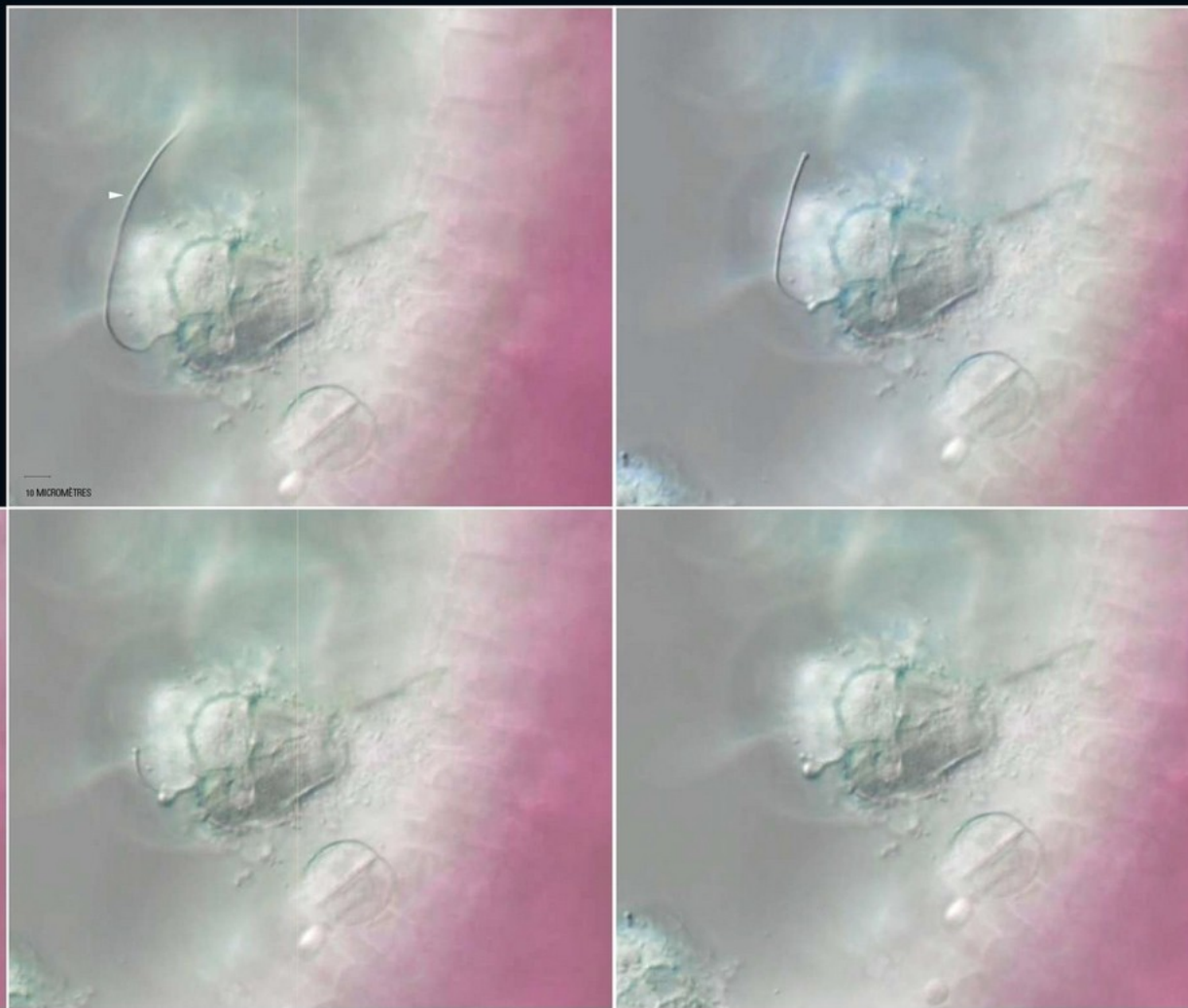
Et se nourrit des bactéries qui s'y développent

Sur la paroi immergée des feuilles se dressent une myriade de glandes. Elles déploient des petites trompes qui semblent collecter l'azote produit par les bactéries.

VICTORIA LEVINS - GETTY IMAGES

LA RÉCOLTE DE NOURRITURE EN DIRECT

D'abord, les longs filaments sortis des glandes des feuilles de la cardère serpent dans l'eau, errant au hasard. Puis en à peine 5 secondes, ils se rétractent. Une célérité inédite pour un appendice végétal. Capté sur le vif par une équipe de chercheurs de l'université de Saint-Étienne, le mouvement est rendu possible par un étonnant mécanisme : ces filaments sont formés d'une longue chaîne de bulles lipidiques ; la chaîne se rétracte subitement lorsque la bulle maîtresse, à sa base, se met à fusionner avec les bulles au-dessus d'elle. ... Et peut ainsi absorber les nutriments de l'eau, comme l'azote.



James Krupa est encore sous le charme de ces images. «*J'ai adoré ce travail*», insiste ce spécialiste des plantes carnivores. Qui en connaissait pourtant déjà un rayon sur la plante en question: «*Nous avons réalisé plusieurs expériences depuis 2008 afin de déterminer si elle était carnivore.*»

Cette plante, c'est la cardère sauvage, dite parfois le «*bonnetier sauvage*», en référence à ses capitules hérissés de piquants, semblables à de gros chardons, qui servaient autrefois de brosses pour carder la laine. Une plante banale sous nos latitudes – on voit souvent sa silhouette le long des talus autoroutiers ou des voies ferrées. «*En Amérique du Nord, elle est considérée comme invasive*», évoque James Krupa. «*Les rares études scientifiques de ces dernières années à son sujet visent à s'en débarrasser*», pointe d'ailleurs Antoine Vergne.

Lequel a eu l'audace, pour son doctorat, de s'intéresser à cette plante largement dédaignée. Et il y a trouvé un véritable trésor, dissimulé au creux de ses longues feuilles dentelées, dans cette petite retenue où l'eau de pluie peut demeurer piégée pendant des semaines, comme autant de petits lacs en apesanteur: d'infimes filaments, parfois longs d'un millimètre, capables d'apparaître puis de disparaître en quelques secondes.

«*Pour une plante, c'est d'une rapidité stupéfiante. Je n'ai jamais vu ça de ma vie*», s'émerveille Jean-Claude Caissard, de l'université de Saint-Étienne, qui a participé à la découverte. «*On les voit très légèrement onduler; comme s'ils étaient en attente, prêts à se saisir de quelque chose*», décrit Éric Giraud, de l'université de Montpellier, lui aussi de la partie. «*C'est bluffant, ces observations sont incroyables*», abonde l'écologue Doyle McKey, de l'université de Montpellier. «*J'aimerais que les images de ces filaments soient montrées dans tous les cours de physiologie végétale*», ajoute James Krupa.

«*Ces filaments ont en fait été découverts pour la première fois il y a cent cinquante ans, mais depuis personne ne s'y était*

UNE VÉRITABLE AQUACULTURE VÉGÉTALE ?

Les réservoirs sont étonnamment enrichis en bactéries capables de concentrer l'azote. Les petites glandes de la cardère sauvage sécrèteraient des molécules qui les favorisent afin d'exploiter leur potentiel nutritif. Ce qui ressemble donc à un véritable élevage de bactéries apprivoisées.

intéressé», pointe, amusée, Anne-Catherine Lehours, de l'université Clermont-Auvergne, à l'origine de ces travaux. Ce qui est d'autant plus étonnant que la découverte était signée d'un nom prestigieux: «*La cardère sauvage a fasciné les Darwin sur trois générations*», rappelle l'historien des sciences de l'université de Cambridge John Schaefer.

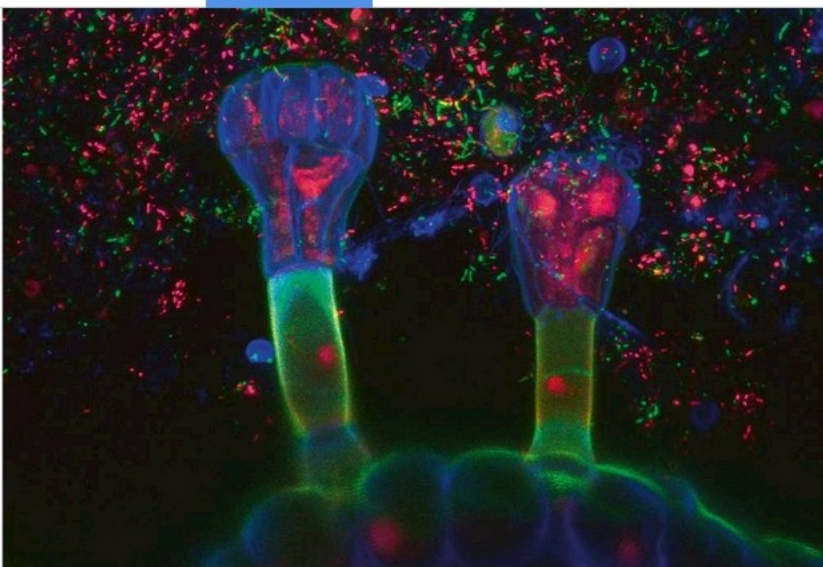
L'HYPOTHÈSE DE DARWIN

En 1789, le grand-père Erasmus célébra dans une poésie les petites coupes d'eau que la cardère offre aux oiseaux, et qui lui a valu le beau surnom de «*cabaret des oiseaux*». Quatre-vingt-dix ans plus tard, son petit-fils Francis, encouragé par le père Charles et leur passion commune pour les plantes carnivores, observait pour la première fois la danse étrange de petits filaments au sein

de ces réservoirs. «*Les dessins de Francis Darwin, à partir de simples observations au microscope, sont magnifiques et aussi précis que nos images actuelles*», admire Antoine Vergne. Le phénomène fascine le fondateur de théorie de l'évolution, qui y voit «*un fait si nouveau et remarquable en matière de physiologie des plantes, que n'importe quelle confirmation de leur réalité servirait d'une grande valeur*».

Les Darwin suspectent alors que ces vivants filaments permettent à la plante d'aspirer le jus de décomposition des insectes qui se noient en nombre dans ces petites douves naturelles. «*Ce type de piège existe chez des plantes carnivores*», évoque James Krupa. Qui a testé l'hypothèse dans son laboratoire: «*L'addition de cadavres de grillons ou de jus de vers dans ces petits réservoirs ne l'aide ni à grandir ni à produire plus de graines, à l'inverse de ce que l'on observe pour une plante carnivore*». Mais à quoi servent donc alors ces filaments?

«*L'hypothèse nutritive de Francis Darwin n'est pas à rejeter: à l'aide de techniques moléculaires, nous avons découvert que*



les réservoirs de la cardère étaient fortement enrichis en bactéries capables de capturer l'azote atmosphérique et de le transformer en composés azotés solubles», répond aujourd'hui Antoine Vergne. Les bactéries semblent même s'attrouper autour des petits poils glandulaires d'où surgissent les filaments. «*Ces poils sont entourés de fibres, dont certaines d'origine fongique semblent favoriser l'accroche et l'accumulation des bactéries*», décrit Anne-Catherine Lehours.

D'où l'hypothèse, fascinante: et si les filaments étaient de petites langues, chargées d'aspirer les molécules azotées produites par les bactéries? Et si ces dernières étaient en fait apprivoisées par les poils glandulaires? Et si la cardère, plutôt que carnivore ou bactérivore, était passée maîtresse d'un art végétal bien plus subtil encore, et jamais observé jusqu'ici: l'aquaculture bactérienne?

ENCORE BEAUCOUP DE QUESTIONS

«*La seule chose que l'on sait pour l'heure, c'est que les filaments sont faits de lipides et que ces poils glandulaires produisent des terpènes, des molécules déjà connues chez les plantes pour les aider à façonner leur microbiote*», reconnaît Jean-Claude Caissard, spécialiste de ces structures glandulaires. «*D'autres types de poils glandulaires permettent à des légumineuses de recruter et d'échanger avec les bactéries pompant l'azote de l'air*», évoque Éric Giraud, expert de ce type de coopération. «*Au-delà même de la cardère, cela jette un regard nouveau sur les phytotomes, ces réservoirs d'eau chez les plantes*», s'enthousiasme Éric Giraud. «*Il faudrait savoir à présent si d'autres espèces sont capables d'une telle prouesse*», renchérit Doyle McKey.

«*Il reste encore beaucoup de questions ouvertes, tempère Anne-Catherine Lehours. Les poils glandulaires sécrètent-ils des molécules sélectionnant les bactéries? Comment les filaments parviennent à se déployer et se rétracter si rapidement? Aspirent-ils vraiment l'azote relâché par les bactéries, voire d'autres substances? Et si oui, lesquelles?*» «*Cela va être un challenge d'étudier la composition et le fonctionnement de ces filaments*», anticipe Jean-Claude Caissard. Et John Schaefer applaudit: «*C'est extraordinaire de voir qu'après cent cinquante ans et les travaux de Francis Darwin, la cardère suscite à nouveau autant d'interrogations.*»

Oui, bien que communes sur les bords des autoroutes, la cardère sauvage est redevenue l'une des plantes les plus étonnantes au monde.

NOS SOURCES

Antoine Vergne et al., *The Scientific Naturalist* (2023); John Schaefer, *Carnivorous Plant Newsletter* (2021); James Krupa et al., *Botany* (2019); Charles Darwin, *Nature* (1877). Retrouvez toutes nos sources sur [epsiloon.com/sources](https://www.epsiloon.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par *Epsilon*. Sauf celle de Darwin, bien sûr.



POURQUOI LA PILULE MASCULINE N'EXISTE PAS

Alors que la recherche n'a jamais été aussi active, et que les hommes s'y déclarent aujourd'hui majoritairement favorables? Autorités de santé à la traîne, sous-investissement et désintérêt des labos... La pilule pour hommes pourrait bien rester un fantôme.

PAR HÉLOÏSE RAMBERT

Jochen Buck l'admet d'emblée, tout sourire: il ne cherchait pas spécialement à faire avancer la recherche sur la contraception masculine. Mais lorsque Lonny Levin, son collègue de l'université Cornell, pharmacologue comme lui, l'a mis au défi d'isoler la protéine sAC –pour «adenylyl cyclase soluble»–, qui avait longtemps échappé aux biochimistes, il n'a pas pu résister. «Je devais relever le défi, raconte-t-il. Lonny et moi avons fusionné nos laboratoires et nous nous sommes concentrés sur la sAC. Depuis vingt ans, nous pensons que cette protéine, présente dans les cellules testiculaires, pouvait être une cible pour une contraception masculine, car c'est une enzyme essentielle à la maturation et la motilité des spermatozoïdes.»

Active dans les testicules, l'enzyme l'est aussi dans presque toutes les cellules du corps. Mais un véritable dogme règne à l'époque: les cibles biochimiques de la contraception masculine doivent être spécifiques à la sphère génitale. Il a fallu deux



SHUTTERSTOCK - BETTY IMAGES

découvertes, il y a cinq ans, pour changer la domme. « Une de nos étudiantes voulait tester un inhibiteur de la sAC sur la pression oculaire des souris... Mais elle avait une peur bleue des souris, s'amuse encore le scientifique. Un autre étudiant lui a proposé de faire les injections à sa place, à condition qu'il puisse ensuite récupérer la sperme des mâles. »

Bingo. Sous l'effet de l'inhibiteur enzymatique, les rongeurs produisent des spermatozoïdes incapables de se propulser vers l'avant, et donc privés de leur pouvoir de fécondation. La publication d'une autre équipe rassure au même moment les pharmacologues sur d'éventuels effets secondaires: les hommes dépourvus du gène codant pour la sAC sont infertiles, mais en excellente santé.

« UN PEU DÉSOLANT »

Lonny Levin s'enthousiasme. Peut-être tiennent-ils là un outil pour développer un contraceptif pour les hommes? « Je lui ai répondu que nous avions encore mieux, peut-être: un contraceptif à la demande », se souvient Jochen Buck. C'est ce que font

modèle a priori idéal pour une contraception à la demande pour les hommes, à prendre peu avant un rapport sexuel.

Alors, à quand des essais chez l'homme? À quand des boîtes de sAC disponibles en pharmacie? C'est là que ça se complique... La contraception masculine fait régulièrement l'objet d'annonces prometteuses. Ici, des essais encourageants pour un gel cutané; là, des résultats préliminaires prometteurs pour une injection. « Plusieurs produits sont en développement », confirme Lionel Vaudreuil, chirurgien urologue au CHU de Caen-Normandie. Mais on en entend parler depuis des années, sans rien voir arriver. C'est par exemple ce qui s'est passé avec le Vasalget, un polymère destiné à être injecté dans le canal déférent qui transporte les spermatozoïdes, et donc à leur bloquer le passage. De ce contraceptif comme d'autres candidats potentiels, nous n'avons plus de nouvelles. C'est un peu désolant. »

De fait, alors que les recherches ont commencé dans les années 1960, les seules méthodes officielles existant aujourd'hui pour les hommes sont mécaniques: le bon vieux préservatif et la vasectomie – une opération mineure, mais irréversible, qui consiste à sectionner les canaux déférents, soit, techniquement, plus une stérilisation qu'un contraceptif. Longtemps, les hommes ont d'ailleurs été soupçonnés d'être peu intéressés par des solutions permettant de maîtriser leur fertilité. Mais ce préjugé n'a plus lieu d'être: une enquête, financée par la Fondation Bill et Melinda Gates, menée auprès de 19 000 hommes adultes de huit pays différents (Nigeria, Kenya, Côte d'Ivoire, République démocratique du Congo, Vietnam, Bangladesh, Inde et États-Unis), a conclu que 78 à 98% des hommes, selon le pays, seraient prêts à utiliser de nouvelles méthodes contraceptives.

Ce n'est que faute de mieux qu'ils se tourneraient vers la vasectomie. De plus en plus d'ailleurs. « Leur nombre explose », rapporte Lionel Vaudreuil. Depuis une dizaine d'années, les interventions ont été multipliées par vingt. Ou vers le slip chauffant! Une idée développée au CHU de Toulouse, et adoptée par certains hommes, alors même que les essais ont été interrompus sans pouvoir conclure à son efficacité, ou à l'absence de risques... « Pour ce qui est des autres solutions, on les attend », regrette Lionel

DEPUIS 40 ANS UNE MULTITUDE D'ANNONCES SANS RESULTAT

LE GOSSYPOL EST (TROP) EFFICACE!

Cette molécule a fait l'objet, en Chine, d'un essai clinique sur plus de 8 000 participants et donné des résultats intéressants. Mais ses effets étaient irréversibles dans 20% des cas. Les recherches ont été abandonnées.

LA TRIPTONIDE RALENTIT LES SPERMATOZOÏDES

Elle est capable de déformer les spermatozoïdes, réduisant grandement leur mobilité. Mais la preuve de son efficacité chez l'homme n'a pu être faite.

UN GEL QUI MARCHE!

Le Risug, développé en Inde, qui s'injecte dans les canaux déférents, a atteint les essais cliniques de phase 3 en 2020. On attend toujours la suite...

L'ESPOIR DU VASALGEL

Développé aux États-Unis, il fonctionne de manière similaire au Risug, mais diffère par sa composition chimique. Il était aussi en cours d'étude, mais ne fait plus parler de lui.

LA SAC A UN EFFET IMMÉDIAT

Découverte par hasard cette année par une équipe américaine, cette enzyme immobilise les spermatozoïdes, du moins chez la souris. Il reste à attendre les études chez l'homme.

Vaudreuil. À tel point que des méthodes hormonales alternatives se développent, à la marge. Jean-Claude Soutif, andrologue à l'Institut Vernes, à Paris, et membre du Groupe de recherche sur les méthodes de régulation de la fertilité masculine de l'OMS de 1985 à 1994, n'a par exemple pas attendu. Depuis trente-cinq ans, il prescrit des injections de testostérone à des patients soucieux de maîtriser leur fécondité. « Dans 90% des cas, ce sont des hommes dont la partenaire est en souffrance avec les contraceptifs féminins », explique-t-il. Lui aussi constate un intérêt croissant des hommes pour la contraception, même si les rangs de volontaires restent encore bien maigres. « Je suis en ce moment une quarantaine d'hommes dans le cadre de ce protocole », indique l'andrologue. Sur l'ordonnance, une injection en intramusculaire, une fois par semaine. Et l'indispensable mention « hors AMM ».

ÇA MARCHE PLUTÔT BIEN

Car oui, bien qu'à portée de main dans toutes les pharmacies, l'énanthate de testostérone – commercialisée sous le nom d'Androtardyl – ne bénéficie pas en France d'autorisation de mise sur le marché comme contraceptif. Et pourtant, ça marche plutôt bien. Apportée de manière exogène, la testostérone supprime la sécrétion des gonadotrophines, des hormones produites par l'hypophyse nécessaires à la maturation des spermatozoïdes dans les testicules. Résultat, un écoulement de la production de ces spermatozoïdes. Mais mieux vaut être patient. Comptez quatre à douze semaines après l'introduction de la méthode pour voir un effet contraceptif, et au moins autant pour le retour de la fertilité.

L'efficacité de ces injections hebdomadaires d'énanthate de testostérone a fait l'objet de deux études de l'OMS en 1990 et 1996. « Elles ont démontré que la méthode était aussi efficace que la pilule que prennent les femmes », explique l'andrologue. Mais aussi que certains hommes n'y répondaient pas. En France, après trois mois de traitement, 20% des hommes continuent de produire plus d'un million de spermatozoïdes par millilitre de sperme, soit plus que la norme internationale fixée pour l'efficacité contraceptive. Et un nombre d'hommes ne sont pas éligibles à cette contraception hormonale: le surpoids, le tabagisme, une fragilité psychique sont notamment des contre-indications. Sans

à **78%** des hommes se disent prêts à utiliser une méthode de contraception

à **98%**

espérer leurs derniers travaux, publiés en février: une dose unique d'un inhibiteur de la sAC immobilise les spermatozoïdes de souris pendant deux heures et demie et les effets persistent dans l'appareil reproducteur des femelles après l'accouplement. Au bout de trois heures, certains spermatozoïdes commencent à retrouver leur mobilité; au bout de vingt-quatre heures, presque tous ont retrouvé un mouvement normal. Un

compter que quand elle est efficace, l'administration de testostérone peut s'accompagner d'effets indésirables non négligeables.

D'autres formulations hormonales sont dans les tuyaux de la recherche. Diana Blithe, à la tête du programme de développement des contraceptifs au NIH, le National Institutes of Health, et ses équipes évaluent pour la première fois sur l'homme l'efficacité d'un gel transdermique, à s'auto-administrer quotidiennement. Dans sa formulation, de la testostérone, toujours, et un nouveau progestatif, l'acétate de ségestérone. «*Nous pensons que ce gel peut offrir plus d'indépendance et de confort aux utilisateurs, tout en réduisant les effets secondaires*, explique la médecin américaine. *Les résultats sont bien meilleurs que ce que nous avions prévu et le taux d'efficacité semble supérieur à celui de la pilule.*» Le produit est sur le point de faire l'objet d'une étude de phase 3, généralement la dernière étude sur l'humain avant la mise sur le marché d'un nouveau médicament. Ce serait une première.

ÇA TRAÎNE LES PIEDS

«*Des injections à longue durée d'action, mais aussi des pilules hormonales font aussi l'objet d'essais sur l'homme*», ajoute sa collègue Stephanie Page, cheffe du service métabolisme et endocrinologie de l'Harborview Medical Center, à Seattle. Depuis cinquante ans, la tant fantasmée «*pilule pour homme*» donne du fil à retordre aux scientifiques. Après son retrait du marché en 2021, une nouvelle formulation orale de testostérone, plus sûre, a récemment été approuvée. Mais elle nécessite une prise biquotidienne avec de la nourriture. Pas vraiment idéal. «*Le NIH, notamment, développe plusieurs nouveaux androgènes sous formes orales afin de concevoir l'insaisissable pilule masculine*», rapporte Stephanie Page.

Sans doute la recherche d'un contraceptif masculin n'a-t-elle jamais été aussi active, mais beaucoup de chercheurs l'avouent: le problème n'est pas tant scientifique

qu'administratif et réglementaire. Pour Jean-Claude Soufir, l'Androtardyl, disponible depuis longtemps, pourrait bénéficier à plus de patients. «*Nous avons demandé à la Haute Autorité de santé une autorisation temporaire d'utilisation pour les injections de testostérone. C'est en cours. Nous avons également demandé un recueil d'informations centralisé au niveau du ministère de la Santé ou d'une unité Inserm.*»

Si les autorités de santé devaient continuer à traîner des pieds, peu de chance que la révolution vienne des laboratoires pharmaceutiques: «*Le manque d'investissement est un problème majeur pour faire avancer les choses dans notre domaine*», soupire Stephanie Page. Un manque d'intérêt des laboratoires confirmé par Gregory Kopf, médecin et cofondateur de Sacyl Pharmaceuticals, jeune entreprise américaine dont l'objectif est de développer des inhibiteurs de la sAC pour en faire des contraceptifs masculins non hormonaux. «*Deux sociétés pharmaceutiques, Schering AG et Wyeth Pharma, ont investi dans la recherche et le développement de méthodes contraceptives masculines au milieu des années 1990 et au début des années 2000. Mais en 2006, elles ont mis fin à leurs investissements*

LE PROBLÈME DE LA BALANCE BÉNÉFICES/RISQUES

La mise sur le marché d'une «*pilule pour homme*» présente une particularité. Pour une femme, c'est clair: la balance est positive. Lorsqu'elle tombe enceinte, elle prend davantage de risques sanitaires –notamment cardiovasculaires – que lorsqu'elle utilise une pilule contraceptive... Or, c'est l'inverse chez les hommes. Pas de grossesse qui pèse. Il n'y a donc que des risques, aussi minimes soient-ils, à prendre une substance contraceptive. Une situation qui poserait des problèmes de responsabilités juridiques aux labos pharmaceutiques et pourrait être un obstacle à la mise sur le marché d'un contraceptif masculin. Pour le contourner, les régulateurs devraient considérer, comme le réclament certains spécialistes, les risques pour le couple, et pas seulement pour l'individu.

et la situation est restée pratiquement inchangée depuis», explique le médecin américain.

Des arguments avancés par les laboratoires pour s'en tenir au statu quo, il en a entendu de toutes sortes. «*Le coût des phases de développement les freine, alors qu'il existe pléthore d'options peu coûteuses et efficaces pour les femmes sur le marché mondial*, cite Gregory Kopf. *Ils ont aussi peur que les contraceptifs masculins cannibalisent le marché des contraceptifs féminins. Et que les hommes ne sachent pas prendre ces médicaments.*» Bref, pas sûr encore une fois, que ce nouveau bébé, pourtant si attendu, voie le jour...

NOS SOURCES

M. Balbach et al., *Nature Communications* (2023); S. Page, *Frontiers* (2022); Jean-Claude Soufir, *Basic Clin Androl* (2017). Retrouvez toutes nos sources sur [epsilonon.com/sources](https://www.epsilonon.com/sources). Toutes les citations sont extraites d'interviews réalisées par [Epsilonon](https://www.epsilonon.com).

POP SCIENCE



JUIN 2023

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

ALBERT EINSTEIN
(probablement apocryphe)

SOMMAIRE

85
FUN FACTS
Anneaux de Saturne, éléphant, patins à glace, Beethoven, bébé crevette, bière ambrée, bulles, tigre de Tasmanie...

88
CULTURE SCIENCE
Asteroid City de Wes Anderson: la méthode scientifique

90
PROJETS X
Un auditorium qui se love dans le verre; un bolide qui se veut furtif; un parking qui se cache sous l'eau...

94
INSTANT GEEK
Manettes, exosquelette, platine et détecteur de ChatGPT.

96
LIFE
Gens gentils, lève-tôt, petites marches, beaux tableaux, appétit, mauvaises nouvelles...

Les anneaux de Saturne sont en train de tomber

The Planetary Science Journal, mars 2023

En tombant, ils réchauffent la géante – de quelques centaines de degrés tout de même! – dans une bande 30° au nord de son équateur. «*Nous avons pu démontrer qu'en tombant des anneaux, des particules de glace provoquent un échauffement et une luminosité supplémentaire dans l'ultraviolet*», explique Lotfi Ben-Jaffel, qui a mené l'étude à l'Institut

d'astrophysique de Paris. Pour détailler le phénomène, son équipe et lui ont épluché quarante ans d'archives, des missions Voyager, des années 1980, à Cassini en 2017, et mené de nouvelles observations avec Hubble. Ce qui a permis de quantifier le phénomène. «*Les anneaux perdent 10 tonnes par seconde. C'est énorme! À ce rythme, si cela dure depuis longtemps, ils devraient avoir disparu...*» M.F.

Un éléphant a réussi à éplucher des bananes

Current Biology, avril 2023

Cette pensionnaire du zoo de Berlin, nommée Pang Pha, semble avoir appris la technique en observant ses soigneurs. Et elle fait preuve d'une belle dextérité: elle parvient à ouvrir le fruit avec sa trompe, puis à retirer –sans chichis, certes– les différentes tranches de peau pour en récupérer la pulpe. Le tout en une moyenne de 22 secondes seulement. v.n.



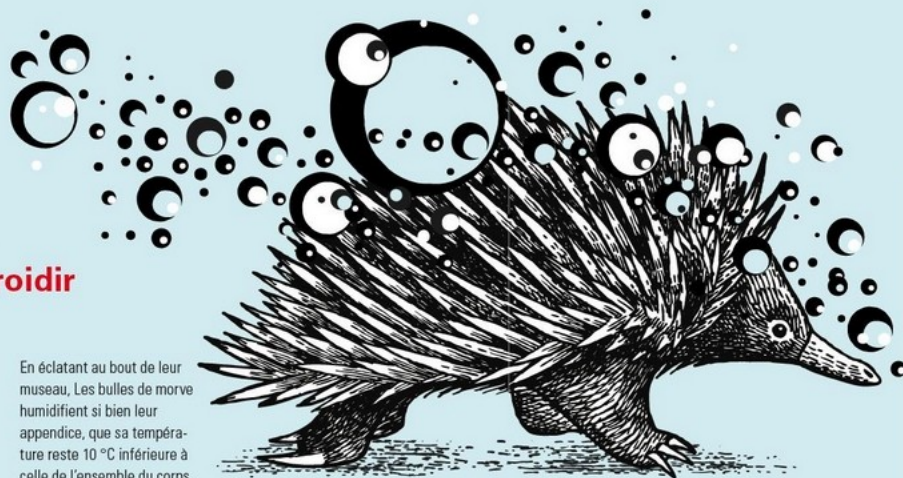
En Australie, les échidnés font des bulles pour se refroidir

Biology Letters, janvier 2023

Ces petits mammifères aux allures de hérisson – mais en fait plus proches des ornithorynques – en ont même fait en art de la survie, leur permettant de s'adapter aux chaleurs extrêmes qui sévissent un peu partout sur le continent australien. Ils sont en effet incapables de suer pour rafraîchir leur corps. Leur

technique : faire des bulles avec leurs sécrétions nasales dès que le thermomètre s'envole au-dessus de 30 °C. La prouesse, suspectée dès 2016, vient d'être confirmée par des zoologistes australiens chez 124 échidnés sauvages de la réserve naturelle de Boyagin, minutieusement observés à l'aide de caméras thermiques.

En éclatant au bout de leur museau, les bulles de morve humidifient si bien leur appendice, que sa température reste 10 °C inférieure à celle de l'ensemble du corps. Et cette fraîcheur se diffuse ensuite un peu partout grâce aux nombreux vaisseaux sanguins qui irriguent leur museau. A.P.



8336 mètres

Voici la profondeur record à laquelle a été observé un poisson. En l'occurrence, une sorte de poisson-limace filmé dans la fosse d'Izu-Ogasawara, au large du Japon.

Certaines bulles ne remontent pas en ligne droite

PNAS, mars 2023

Léonard de Vinci se questionnait déjà sur cet étrange phénomène. «Ce petit problème n'a l'air de rien, mais il nous a fallu attendre de pouvoir effectuer les simulations numériques capables de modéliser les équations physiques pour l'élucider», expose Jacques Magnaudet, à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse. Qui a donc démontré que les bulles zigzaguent, non à cause de leurs déformations, ou de l'instabilité de leur sillage, mais via des interactions de surface entre la bulle et l'eau. Au-delà d'une taille critique de 1,85 mm de diamètre, une toute petite perturbation dans le déplacement de la bulle modifie l'écoulement de l'eau autour, ce qui modifie sa trajectoire. A.P.

En fait, Beethoven est mort d'une hépatite B

L'analyse génomique des huit mèches de cheveux attribuées au compositeur révèle une infection par ce virus quelques mois avant son décès. Cumulée à son penchant pour l'alcool et à une fragilité génétique du foie, elle a provoqué une cirrhose fatale. A.P.

Statistiquement, il pourrait encore y avoir des tigres de Tasmanie

Le dernier spécimen connu est mort dans un zoo en 1936. Mais si l'on en croit un nouveau modèle statistique fondé sur 1200 témoignages – plus ou moins crédibles – recueillis jusqu'en 2019, l'espoir demeure de trouver des rescapés dans des coins reculés de l'île. v.n.

10 000 ans

C'est le temps qu'il a fallu pour peupler tout le continent australien. Deux fois plus que prévu.



La bière ambrée se conserve mieux en bouteille qu'en canette

ACS Food, So. & Tech., mars 2023

Bouteilles en verre et canettes en aluminium ont été réfrigérées pendant un mois, puis conservées à température ambiante, et enfin analysées chimiquement tous les quinze jours pendant cinq mois... Pour la bière blonde, les chimistes américains n'ont décelé aucune différence notable. En revanche, pour la bière ambrée en canette, la concentration en certains acides aminés et esters se dégrade nettement au fil des semaines – c'est un peu mieux pour l'ambrée en bouteille. H.P.

59 000 G

C'est l'accélération record des pinces de bébés crevettes lorsqu'elles claquent : 20 fois plus percutant que chez les adultes.

Les Chinois faisaient du patin à glace à l'âge de bronze

Académie chinoise des sciences sociales, 2022

En témoignent deux pièces d'os droites, une de vache et une de cheval, exhumées par les archéologues de l'Académie chinoise des sciences sociales sur le site de Jirentai Goukou, dans la région du Xinjiang, au nord-ouest de la Chine. Découvertes parmi plus de 40 morceaux de roues et autres éléments de véhicules en bois dans une tombe vieille de 3500 ans, ces pièces sont dotées de bords tranchants et perforées à l'avant et à l'arrière – de manière à pouvoir enfilet les lanières de cuir indispensables à leur maintien aux pieds des patineurs. Autre surprise : ces patins archaïques ressemblent comme deux gouttes d'eau à la plus ancienne paire européenne, datée d'environ 3000 av. J.-C. Une nouvelle preuve des échanges entre l'Orient et l'Occident à l'âge du bronze ? A.P.





Asteroid City La méthode scientifique

Wes Anderson nous transporte au milieu du désert, à la rencontre d'extraterrestres et de passionnés d'astronomie. Une première sur le terrain scientifique? Non, la science est une méthode et un décor pour le cinéaste.

Asteroid City, Farm Route 6, km 120, le 23 septembre 1955. Un ovni est aperçu dans une petite ville américaine, qui se retrouve placée en quarantaine... À cet endroit, à cette époque,

Enrico Fermi et Carl Sagan se saisissent de la question de la vie extraterrestre, tandis qu'un alien fait du bruit près de Roswell. Ambiance guerre froide et course spatiale, avec un scénario

classique qui rappelle *Rencontres du 3^e type*. Wes Anderson se serait-il égaré? « Au contraire, répond Whitney Dilley, spécialiste de l'œuvre du cinéaste à l'université Shih Hsin à Taïwan. *Est-ce de la fiction? Est-ce réel? Cette tension irrésolue autour de la question des aliens est une brèche naturelle pour lui.* » « La science joue un rôle clé dans son univers, complète Julie Assouly, spécialiste du cinéma américain à l'université d'Artois. *Dès son premier film, il la met en avant.* » C'est une marque de fabrique chez Anderson: créer

le décalage en ancrant son histoire loufoque dans un réel ultraprécis, méticuleusement contrôlé... et la science est parfaite pour ça. Elle structure même le point de vue du cinéaste, qui met son histoire et ses personnages dans une boîte de Petri et place le spectateur en observateur scientifique: on étudie l'âme humaine dans un sous-marin vu en coupe (*La Vie aquatique*), la famille pièce par pièce dans une demeure (*La Famille Tenenbaum*). Et aujourd'hui, avec *Asteroid City*, la communauté humaine sous confinement. Il va

Partout un décor scientifique

Paraboles, jetpack, pistolet laser en carton-pâte. Les machines, mi-bricolées mi-futuristes, peuplent les films de Wes Anderson; les objets scientifiques déseuillés habillent le décor. Et les personnages se livrent à des expérimentations: Chas (*La Famille Tenenbaum*) crée des souris dalmatiennes, Steve Zissou (*La Vie aquatique*) invente une classification d'espèces marines...

jusqu'à appeler en permanence les figures du scientifique: astronome, archéologue, océanographe, météorologue, épidémiologiste se promènent dans ses films pour crédibiliser les récits. « Ils attestent de la réalité et donnent une validité à cet univers fantasmagoré », explique Julie Assouly. Le sujet de Wes Anderson, c'est l'humain, et son

absurdité. Mais en choisissant un cadre scientifique pour la faire émerger, il dresse un portrait en creux de la science. Curieux, rationnels, les enfants en sont d'ailleurs l'incarnation. La science, structurante et libératrice, comme chez Jules Verne et Tim Burton, est un « imaginaire sans limite », un outil au service de ceux qui veulent réinventer le monde.



FILM
ASTEROID CITY

De Wes Anderson, avec Jason Schwartzman, Scarlett Johansson, Tom Hanks, Tilda Swinton...
1 h 44, en salle le 21 juin

AGENDA



LIVRE

Parole de machines

Le physicien et philosophe Alexei Grinbaum est spécialiste de l'éthique du numérique. Il livre ses réflexions sur la révolution ChatGPT.

Le 3 mai, en librairie
Éd. HumenSciences, 192 pages, 17,90 €

FESTIVAL

Double-science

Première édition de ce festival. Conférences, ateliers, films... avec notamment le physicien David Louapre et l'astrophysicien David Elbaz.

Du 26 au 28 mai
Entrée libre de 13 h à 21 h, à Ground Control (Paris)

EXPOSITION

Vingt Mille Lieues sous les mers

Avis aux fans de Jules Verne. Les manuscrits de son célèbre livre et des documents autour de son écriture seront exposés.

Du 3 juin au 1^{er} octobre
Au musée de Picardie, Amiens, 9 €

ÉVÈNEMENT

L'Armada

Comme tous les 4 ans, les plus beaux voiliers seront de sortie. Et des scientifiques donneront des conférences sur l'océan.

Du 8 au 18 juin
À Rouen, accès libre

EXPOSITION

Léonard de Vinci, la mécanique de la vie

Maquettes, instruments de dissection, fac-similés... Une expo qui promet de voir votre anatomie sous un autre jour.

Du 9 juin au 17 septembre
Ouvert tous les jours de 9 h à 19 h, au Clos Lucé, à Amboise, 18 €

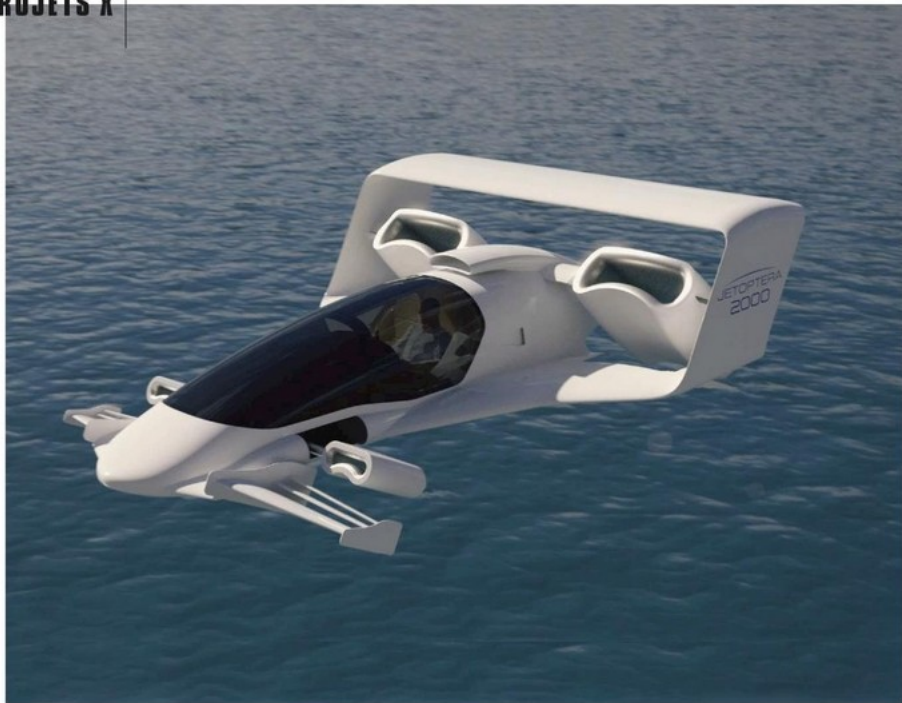


SCULPTING VITALITY

Un auditorium qui se love dans le verre

Des centaines de lamelles de double, voire de triple vitrage, des panneaux de bois lamellés croisés en soutien... Cette spirale de verre a été imaginée pour accueillir une salle de spectacles durant l'exposition universelle de 2025 à Osaka. Acoustique, lumière, isolation, tout a été conçu pour être optimisé grâce à sa forme enroulée. Et elle est démontable: après le Japon, le bâtiment repartira en République tchèque, son pays d'origine, pour y être réinstallée.





Le bolide qui se veut furtif

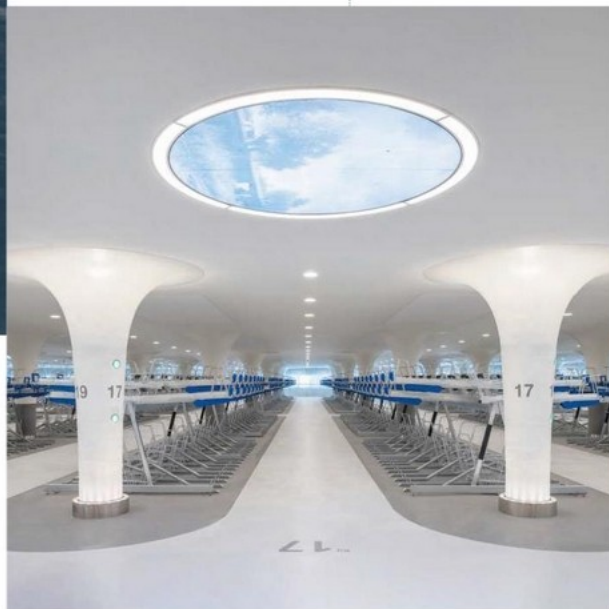
JETOPTERA J-2000

Pas de grosses hélices. À la place, un système de propulsion qui brasse un petit débit d'air et crée un grand flux en sortie — un peu comme un ventilateur sans pale. Cet engin américain est censé décoller à la verticale et voler avec deux personnes à bord sans faire trop de bruit : moins de 50 dB à 100 m d'altitude. Il pourrait, selon les plans, atteindre 300 km/h. Un premier démonstrateur électrique devrait s'envoler en 2025.

Un parking à vélos qui se cache sous l'eau

STATIONS PLEIN

Étayé par des colonnades de béton, éclairé par des hublots, cet espace a été pensé pour être immergé à 9 m de profondeur, dans le bassin Open Havenfront, à Amsterdam. De quoi abriter 7 000 vélos, vise le cabinet d'architectes Wurck, et limiter leur empreinte au sol. Comme quasiment tout le reste de la ville, il repose lui aussi sur des pieux. Une structure en suspension entre deux eaux.



Fabriquer de l'hydrogène avec l'air ambiant

« Il suffit de capter l'humidité de l'air et de séparer l'hydrogène de l'oxygène grâce à l'énergie solaire », décrit Benjamin Goldman, doctorant à l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Une variante de la méthode classique utilisée dans l'industrie, qui nécessite d'acheminer de grandes quantités d'eau très pure dans les usines pour procéder à son électrolyse. « Là, l'idée est de déclencher le craquage de l'eau — une réaction qui sépare hydrogène et oxygène — naturellement, précise le chercheur. On travaille depuis deux ans sur un système capable de faire ça. » Et ils viennent en partie de réussir, en combinant un matériau poreux et un semi-conducteur qui absorbe les photons émis par le soleil et récupère leur énergie. « Quand l'humidité captée entre en contact avec le semi-conducteur excité par la lumière, cela déclenche ce craquage. » Reste à optimiser le système pour améliorer son rendement, ses coûts, ses protocoles de construction, dans l'objectif d'un déploiement à grande échelle. C.L.



Les manettes musiciennes

Il suffit de souffler dedans ou de tirer dessus pour générer des sons complexes sur un smartphone. « *Beaucoup d'études ont déjà fait le lien entre musique et langage. C'est en partant de là que j'ai eu envie d'inventer ce nouvel instrument pour enfants de 4 à 10 ans, qui va plus loin que les jeux habituels du type pouet pouet* », explique Muriel Colagrande, à l'origine du projet. 150 professionnels (enseignants, orthophonistes...) l'utilisent déjà avec leur entourage. Des études menées par deux laboratoires sont en cours pour évaluer leur effet sur l'apprentissage de la lecture. *Sound Explorer, à partir de 100 €.*



Un exosquelette pour tout le monde

Jusqu'ici, les exosquelettes étaient surtout cantonnés à des applications professionnelles (à des prix déments). Plus maintenant. Une entreprise chinoise, Hypershell, a réussi à en créer une version légère de 1,8 kg destinée aux particuliers, pour booster les capacités en randonnée ou transporter des objets lourds. « *Nos calculs montrent que 90% de l'énergie qu'une personne utilise en marchant peut être économisée avec un exosquelette*, détaille Wyatt Song, membre de l'équipe. *La ceinture capte le début du geste, prédit le mouvement et l'assiste en souplesse grâce à ses 14 degrés de liberté.* » L'entreprise revendique des dizaines de milliers d'heures de validations cliniques pour garantir que cet exosquelette n'aura pas d'effets négatifs sur la durée. Reste à tester.

Hypershell, à partir de 300 €.

Le détecteur de ChatGPT

Qui est derrière le texte? Une entreprise française spécialisée dans les programmes d'intelligence artificielle anti-plagiat vient d'inventer un logiciel capable de repérer si un texte est, oui ou non, généré par ChatGPT... Pour l'instant, le démonstrateur gratuit scrute jusqu'à 2000 caractères en ligne avec 90% de fiabilité. Mais d'ici quelques mois, une version payante permettra l'analyse de documents plus longs.

Compilatio, prix non communiqué.

**POURQUOI
ON N'Y A PAS
PENSÉ AVANT ?**



Le panneau solaire recto-verso

Posées sur un trépied à même le sol, les stations solaires autonomes pour les particuliers ont l'avantage d'être plus faciles à installer que sur un toit. Elles sont aussi souvent inclinées à l'oblique. D'où l'idée d'exploiter leur face cachée: « *Entre le sol et la station penchée entre 27 et 60°, il y a un espace libre qui reçoit indirectement de la lumière réfléchie.* En encapsulant une cellule photovoltaïque entre deux plaques de verre, on s'est rendu compte qu'on pouvait récupérer ces rayons réfléchis », raconte Vincent Arrouet, fondateur de Sunology. De quoi, d'après les tests, augmenter de 5 à 7% la puissance produite par le panneau – et même jusqu'à 30% quand la surface autour de la station est très réfléchissante. Ce système existait déjà sur quelques fermes solaires industrielles de très grande envergure. Mais il fallait réussir à changer d'échelle pour l'adapter aux particuliers. C'est chose faite: le panneau ne pèse que 5 kg de plus qu'un modèle simple face.

La platine qui tient debout



« *Vous pouvez avoir une idée en une fraction de seconde, mais après, il faut six années de travail acharné pour la concrétiser. Nous avons dû réinventer tout le système d'entraînement, développer un bras de lecture, un moteur spécifique...* », souffle le designer hollandais Peter Kolkman. Ainsi est née cette platine verticale, avec sa techno invisible cachée derrière le disque – qui tourne dans le sens inverse de d'habitude. Pour changer de piste, il suffit d'appuyer sur le bouton central.

Miniot Wheel, à partir de 2000 €.



Les tableaux sont plus beaux quand on lit l'étiquette

Scientific Reports, mars 2023

On aimerait croire que l'art s'apprécie mieux sans filtre, à l'état pur. Mais ce serait plutôt le contraire. Selon l'expérience menée par deux neuroscientifiques de Philadelphie, lire quelques éléments de contexte sur la vie de l'artiste et sa technique rend les œuvres plus belles à nos yeux. Sublimant

l'expérience esthétique. Le test a été effectué avec 60 tableaux de l'Américain Jackson Pollock : après avoir appris que l'artiste avait fréquenté les natifs américains au cours de son enfance, et découvert qu'il peignait avec tout son corps en projetant la peinture directement depuis les pots, les 353 participants ont évalué plus positivement ses

tableaux. Ils les ont trouvés plus beaux, plus intéressants et se montraient aussi plus émus. Deux exceptions cependant : ces informations n'apportent bien sûr rien de plus aux connaisseurs. Et laissent également indifférentes les personnes qualifiées par les chercheurs de « psychologiquement peu ouvertes »...

Les gens sont étonnamment gentils

Psychological Science, octobre 2022

«Excusez-moi, pouvez-vous me prendre en photo ?» «Puis-je utiliser votre téléphone un court instant ?» «Ça t'embêterait de m'aider à finir mon devoir ?» Voilà le genre de questions que des psychologues ont demandé à 2 000 participants de poser à des inconnus ou des amis, autour d'eux dans un parc, une salle de classe... Conclusion : on se trompe immanquablement sur la gentillesse de la personne en face de nous. Les participants sous-évaluent son envie d'aider et le plaisir qu'elle pourrait en tirer. Et à l'inverse, surestiment le dérangement qu'ils pourraient provoquer. Voilà pourquoi on se pose peu demander... Alors que dans 95 % des cas où l'on demande de l'aide, on l'obtient.



Plus les nouvelles sont mauvaises, plus on clique

Nat. Human Behaviour, mars 2023

C'est la conclusion de l'analyse de 105 000 titres du site américain Upworthy et des 5,7 millions de clics qu'ils ont récoltés. Chaque mot négatif présent dans le titre augmentait de 2,3 % le taux de clics ; et chaque mot positif le faisait baisser de 1 %. Selon les auteurs, cette réactivité particulière aux informations tristes ou menaçantes serait profondément ancrée en nous.

Oui, se lever trop tôt, ça fatigue

Nature Communications, novembre 2022

D'accord, pour être en forme le matin, il faut dormir suffisamment. Mais ce n'est pas tout : pour se réveiller vraiment frais et dispos, il ne faut pas non plus sortir du lit trop tôt. Voilà qui a été confirmé auprès de 833 personnes enrôlées dans une étude internationale de deux semaines au cours desquelles leurs rythmes, régimes et paramètres physiologiques ont été enregistrés. Elles étaient d'autant mieux éveillées le matin qu'elles s'étaient levées à bonne distance du creux de la nuit. Et ce, indépendamment de la durée totale du sommeil nocturne. En prime, les chercheurs fournissent une foule de détails : la vigilance matinale est meilleure quand on a été actif au cours de la journée précédente, ou quand on prend un petit-déjeuner riche en féculents plutôt qu'en protéines ou en sucres. Inutile d'accuser la génétique : le niveau de vigilance matinale n'est pas plus semblable entre de vrais jumeaux qu'entre de faux ou de non jumeaux. Et il s'améliore avec l'âge...

Il suffit de marcher 5 minutes toutes les demi-heures

Medicine & Science in Sports & Exercise, janvier 2023

Ça paraît beaucoup, mais c'est le minimum pour briser les effets délétères de la sédentarité. Une équipe d'épidémiologistes new-yorkais a établi que marcher ne serait-ce qu'une minute toutes les heures fait déjà baisser de façon significative (d'un demi-point) la tension artérielle par rapport à une journée passée assis pendant 8 heures. Mais pour faire également baisser le taux de glucose dans le sang, autre facteur important de maladies cardiovasculaires et métaboliques, le quota est bien de 5 minutes toutes les demi-heures.

L'amour vient en mangeant

Cell Metabolism, février 2023

On dit que l'amour coupe l'appétit... En fait, c'est plutôt la sensation de satiété qui favorise l'amour ! L'expérience qui le montre n'a porté que sur des souris, mais le mécanisme sous-jacent a de fortes chances d'être le même chez l'humain. Les chercheurs ont observé que sous l'effet de la leptine, l'hormone de la satiété, les animaux passent plus de temps avec leur partenaire potentiel. Pour preuve, quand on stimule chez les souris un groupe de neurones qui réagit à la leptine, elles préfèrent aller vers leur congénère plutôt que de se nourrir. Et cela même quand elles n'ont pas mangé de la journée ! Bon, quand la diète dépasse quatre jours, la faim finit tout de même par prendre le dessus.





« Le robot va s'arrêter chaque fois qu'il détecte un obstacle. Même un simple sac en plastique qui flotte dans l'air ! »

Gregorio Ameyugo, à propos de chantier sans humains p. 67

« Il serait temps de se débarrasser de nos œillères »

Chiara Scopa, à propos du test du miroir p. 72

« Je devais relever le défi. Lonny et moi avons fusionné nos laboratoires et nous nous sommes concentrés sur la «AC» »

Jochen Buck, à propos de la contraception masculine p. 81

« La cardère sauvage a fasciné les Darwin sur trois générations »

John Schaefer, à propos de la plante agricultrice p. 78

« Est-ce de la fiction? Est-ce réel? »

Whitney Dillay, à propos de Wes Anderson p. 88

« Aucune solution ne semble vraiment mûre ou compétitive »

Paulina Jaramillo, à propos de l'impact carbone des avions p. 25

« Ce petit problème n'a l'air de rien »

Jacques Magnaudet, à propos des bulles p. 87

« Leur forme est à mi-chemin entre le dôme et le croissant, c'est différent de ce qu'on voit sur Terre »

Matthew Chojnacki, à propos des dunes martiennes p. 20

« Ce domaine commence seulement à émerger et l'étendue de notre ignorance est insensée »

Hayley Charlton-Howard, à propos de l'impact sanitaire du plastique p. 46

• Les 95 scientifiques interrogés par la rédaction pour ce numéro

- | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Gregorio Ameyugo
Ingénieur, 64 ans, Espagne | Jochen Buck
Biologiste, 42 ans, États-Unis | Jean-Claude Caszard
Biologiste, 70 ans, France | Jean-François Coste
Biologiste, 60 ans, France | Gordian Gollap
Psychologue, 40 ans, Inde | Zainab Kuvshin
Physicienne, 35 ans, Russie | Jacques Magnaudet
Physicien, 65 ans, France | Clélie Philibert
Chimiste, 45 ans, France | Dikhar Sidhom-Rahal
Biochimiste, 35 ans, Liban |
| James Anderson
Psychologue, Japon | James-Claude Caszard
Biologiste, 70 ans, France | Darota Chavicka
Biochimiste, 35 ans, République tchèque | Eric Dubois
Ingénieur en aéronautique, Paris | Christine Chignola
Physicienne, 45 ans, France | Priscilla K Coleman
Chimiste, 55 ans, États-Unis | Valérie Masson-Delmotte
Météorologue, Paris | Julia Plonik
Chimiste, 40 ans, États-Unis | Agneszka Skowron
Chimiste, 45 ans, Pologne |
| Julia Asselby
Collaboratrice, Belgique | Robert Bernicki
Technologue aéronautique, Paris | Abdoulhadiou Diallo
Physicien des neutrinos, Kenya | Frans de Waard
Psychologue, États-Unis | Philip Landrigan
Généraliste et pédiatre, États-Unis | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Gregory Kopp
Physicien, États-Unis | Anna Reits
Chimiste, États-Unis | Bruno Tassin
Chimiste en hydrologie, France |
| Luc Avignone
Physicien, Strasbourg | Robert Bernicki
Technologue aéronautique, Paris | Marie-Françoise Diganc
Biochimiste, Université d'Orléans | Eric Giffard
Météorologue, Météo France | Jerry Murphy
Chimiste en énergie et environnement, États-Unis | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Davidson Legrand
Chimiste, États-Unis | Nicolas Pant
Spécialiste de neurologie, Marseille | Amy Teth
Linguiste, États-Unis |
| Alberto Davinson
Physicien et biologiste de l'écosystème, République tchèque | Christine Chignola
Physicienne, 45 ans, France | William Dillay
Physicien, Suisse | Benjamin Goldman
Chimiste, États-Unis | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Lindsay Murray
Physicienne, Royaume-Uni | Yoshitaka Niwase
Physicien, Japon | Philippe Novelli
Ingénieur en aéronautique, Pérou | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France |
| Wolfgang Engel
Physicien, Allemagne | Christine Chignola
Physicienne, 45 ans, France | Matthew Chojnacki
Physicien, États-Unis | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France |
| Lothar Beutelschäper
Physicien, Allemagne | Christine Chignola
Physicienne, 45 ans, France | Chiara Scopa
Physicienne, Italie | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France |
| Luc Avignone
Physicien, Strasbourg | Christine Chignola
Physicienne, 45 ans, France | Chiara Scopa
Physicienne, Italie | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France |
| Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France | Christine de la Roche
Chimiste, 45 ans, France |

Pensez l'actualité avec philosophie



ACTUELLEMENT EN KIOSQUE
et sur philomag.com



MUSÉE AIR + ESPACE

AÉROPORT PARIS - LE BOURGET

L'AVIATION D'HIER À AUJOURD'HUI

Des pionniers de l'air à la conquête spatiale

MUSÉE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Aéroport de Paris-Le Bourget

Photographie: Axel Buzemanity



REP B LE BOURGET

BUS 350 BUS 152

A1 SORTIE 5 LE BOURGET

www.museeairespace.fr



@museeairespace

museeairespace

#museeairespace

#museeairespace