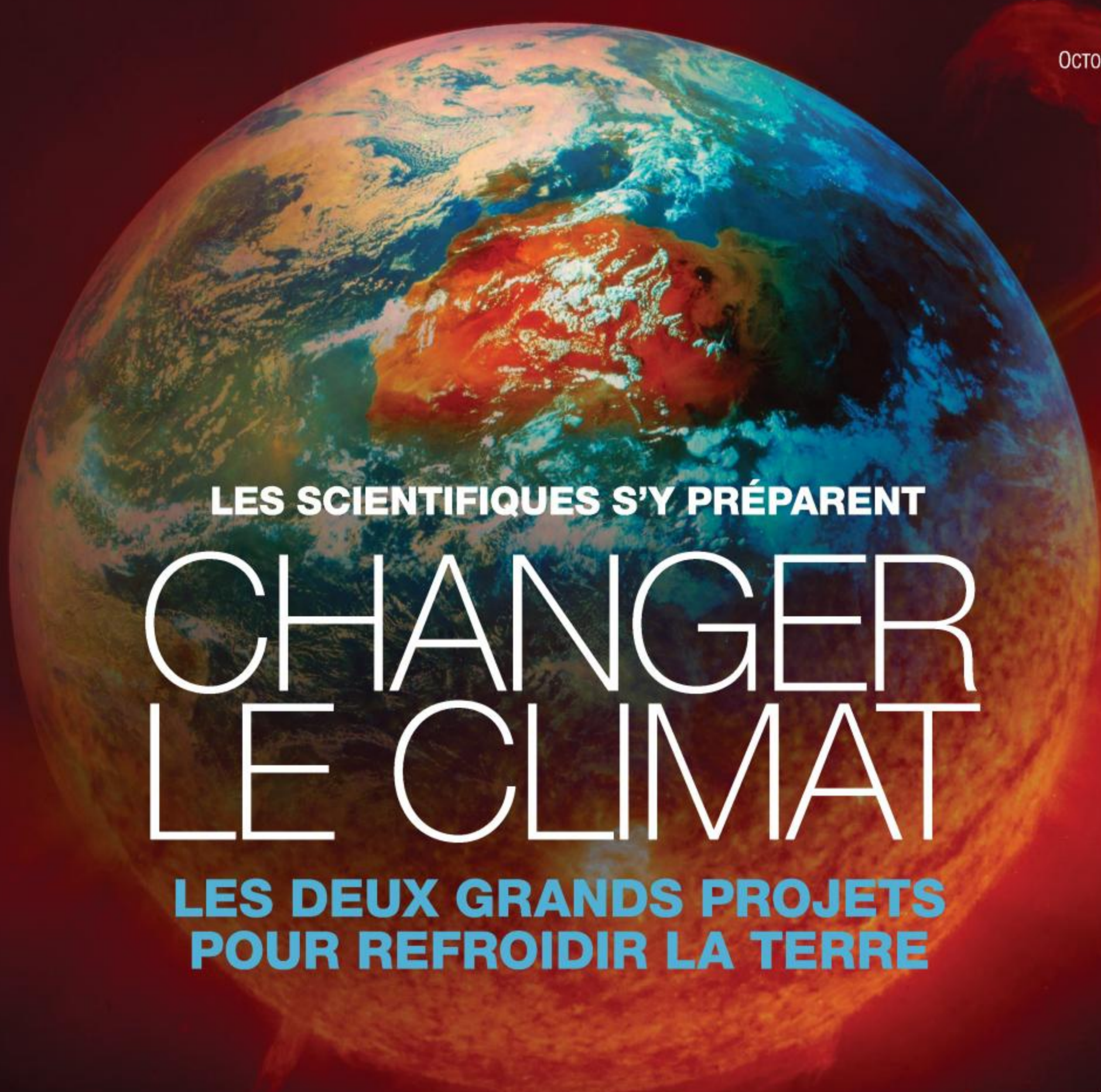


SCIENCE&VIE N° 1213 - Octobre 2018

SCIENCE&VIE

SCIENCE & VIE

N° 1213
OCTOBRE 2018



LES SCIENTIFIQUES S'Y PRÉPARENT

CHANGER LE CLIMAT

LES DEUX GRANDS PROJETS
POUR REFROIDIR LA TERRE



**“RACES
HUMAINES”**

Ça existe, ou pas ?



DENNY

L'enfant miraculeux
de la Préhistoire

MONDADORI FRANCE

D: 6,90 € - BEL: 4,80 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM S: 4,90 € - DOM A: 6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,80 € - PORT CONT: 4,90 €
CAN: 6,75 \$ CAN - MAR: 50 DH - TOM S: 750 CFP - TOM A: 1 400 CFP - CH: 8,50 FS - TUN: 9 DTU

M 02578 - 1213 - F: 4,50 € - RD



ARRÊT DU TABAC

gamme nicotine
nicorette[®]
accomplissons l'incroyable



Avec **nicoretteskin**[®] 25mg/16h,
arrêtez de fumer sans y penser



- ✓ **Soulage** vos envies de fumer tout au long de la journée
- ✓ Diffusion de nicotine pendant **16h**
- ✓ **Semi-transparent**

NOUVEAU !

Remboursement par la sécurité sociale, sur prescription. Parlez-en à votre médecin.

Pas avant 15 ans

Médicament contenant de la nicotine. **L'arrêt définitif de la consommation de tabac est préférable.** Demandez conseil à votre pharmacien. En cas de difficulté, consultez votre médecin. 18/03/6 786 284 8/GP/001.

JJSBF SAS au capital de 153.285.948 €. RCS Nanterre : 479 824 724 Siège social : 1, rue Camille Desmoulins – 92130 Issy-les-Moulineaux. Locataire Gérant de Vania Expansion. M18NI044APC.



Yves Sciama
y.sciama@mondadori.fr

Race, ce mot qui dérange

Les races humaines n'existent pas, comme tout journaliste scientifique j'ai grandi avec cette conviction. Mais, dans la littérature scientifique et médicale, les termes "blanc", "noir", "caucasien" reviennent sans cesse, et le mot "race" n'est pas si rare, notamment aux États-Unis. Dérangeant! Peut-on vraiment employer ces catégories? Comment parler des "différences visibles"? Alors que le mot est supprimé de la Constitution, j'ai voulu me pencher sur mes propres tabous et faire le point.



Vincent Nouyrigat
v.nouyrigat@mondadori.fr

Réparer la Terre, sérieusement?

En décembre 2006, S&V affichait en couverture une image apocalyptique de Paris sous le titre "Refroidir la Terre! L'incroyable projet contre le réchauffement". C'était notre toute première une sur la géo-ingénierie, discipline visant à manipuler le climat pour contrecarrer le réchauffement. Depuis... plus rien, ou presque dans nos colonnes. Pourquoi ce long silence? Ni fausse pudeur ni autocensure: simplement, ces techniques étaient trop sombres, trop spéculatives, frisant parfois l'amateurisme. Mais désormais, à la faveur de l'urgence climatique, des scientifiques sérieux se penchent vraiment sur ces projets d'une ampleur inédite. Pourra-t-on reprendre le contrôle du climat? Notre dossier.



Thomas Cavallé-Fol
t.cavaille@mondadori.fr

Une chance inouïe

Il vaut mieux avoir la chance de son côté. En paléo, on peut gratter des kilos de poussières sans résultat, ou bien tomber par hasard sur une nouvelle espèce, avec un crâne parfaitement conservé, tant qu'à faire! La découverte de Denny, premier hybride jamais retrouvé, fusion de deux espèces humaines, est un de ces incroyables coups de chance. Oui, on savait qu'une telle personne pouvait avoir existé, et même où la chercher. Mais la trouver? Autant jouer au loto! Et pourtant il y a des gagnants...

Sommaire

octobre 2018 n° 1213

08 **Forum**

L'actu des sciences

- 14 **En image**
Les ondes radio révèlent le cœur de la Voie lactée; un poumon fonctionnel recréé en laboratoire...
- 18 **Grand angle**
Des vers congelés pendant plus de 30000 ans se sont réveillés; les bactéries se parlent comme on fait le café; les textiles tissés en fibres optiques arrivent...
- 22 **En chiffres**
Jupiter augmente son record du plus grand nombre de lunes
- 24 **3 découvertes sur...**
L'origine des grandes épidémies
- 26 **Focus**
Mars possède un lac souterrain

Science & société

- 30 Enquête
La science peut-elle se passer du mot "race"?
- 36 Data
En Europe, la qualité de l'eau ne s'améliore pas vraiment
- 38 En débat
Nous ne dormons pas moins qu'avant - au contraire!
- 42 Retour sur image
Le jour où le pont Morandi s'est effondré à Gênes
- 44 Décryptage
L'étrange affaire de la bilharziose en Corse
- 46 Synthèse
Les clés pour comprendre les infections nosocomiales
- 48 Analyse
Automobile: l'avenir appartient aux hybrides
- 52 Tendances
Les sites de rencontre transforment les mœurs
- 54 L'objet du mois
Les poubelles intelligentes
- 56 Futur
Des cabines sur rail aérien au cœur des villes; A330: des couchettes en soute; les drones à la rescousse de la pollinisation...

14 Voie lactée

SHUTTERSTOCK - SARAO - D. NADLINGER/UNIVERSITY OF OXFORD/EPSRC - UNIV. OF OXFORD/MAX PLANCK/AFP - GETTYIMAGES/NASA - EN COUVERTURE: GETTY/NASA - SHUTTERSTOCK



30 "Races"

SCIENCE&VIE 8, rue François-Ory - 92543 Montrouge Cedex
Tél.: 01 46 48 48 48 - Fax: 01 46 48 48 67 E-mail: svmens@mondadori.fr
Recevez Science & Vie chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 129.
Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com.
Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart CROISIERE MEKONG est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un dépliant Rue des étudiants est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine.

64

À la Une64 **Changer le climat**

Bloquer les rayons du Soleil grâce au soufre, réduire le CO₂ en alcalinisant les océans : la géo-ingénierie s'organise. Au risque de semer le chaos ?

82 Fossile

**Les dossiers**

- 82 Paléoanthropologie
Denny, l'enfant miraculeux de la Préhistoire
- 86 Physique
Les particules de matière noire : 7 nouvelles candidates pour le Wimp
- 94 Botanique
Chaque arbre cache une forêt!
- 100 Médecine reproductive
Trouble de la fertilité : tout se joue bien dans la tête
- 104 Algorithme
Robots: l'union fait leur nouvelle force

Atome 124

Bon à savoir

- 112 **C'est maintenant**
Pilule contraceptive : faut-il vraiment s'en méfier ?
- 114 **En pratique**
Au foot, le jeu de tête est très mauvais... pour la tête ; la pollution n'altère pas les bénéfices du sport ; un simple merci augmente le bien-être...
- 118 **Technofolies**
- 122 **À voir/à lire/à faire**
- 124 **Questions/Réponses**
Un objet est visible à partir de combien d'atomes ?
Notre corps contient-il des réserves d'eau ? La vitesse du son est-elle la même sur toutes les planètes ?
- 130 **Bulle de science**

ACTE 1

Garantir
LE BIO

100% FRANÇAIS

**ACCESSIBLE
AVEC CARREFOUR BIO***



On a tous droit au meilleur



[carrefour.fr](https://www.carrefour.fr)

* sur les fruits et les légumes frais, la volaille, la viande bovine et porcine, le lait, les œufs de la marque Carrefour Bio. **Plus d'infos sur [carrefour.fr](https://www.carrefour.fr)**



foodie_montmartre 12H



0€
87

LE LITRE DE LAIT
BIO

ORIGINE 
FRANCE

#Recette100%Bio 🐔 🥕 🥔

Bouteille de 1 L de lait demi-écrémé stérilisé UHT.

POUR VOTRE SANTÉ, MANGEZ AU MOINS CINQ FRUITS ET LÉGUMES PAR JOUR. WWW.MANGERBOUGER.FR

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

MAIS POURQUOI SONT-ILS DEVENUS INÉPUIISABLES ?

J'ai beaucoup apprécié votre article sur l'énergie inépuisable des enfants (S&V n° 1211, p. 100). Ayant deux petits de 5 et 6 ans, je m'étais déjà fait la réflexion sur leurs capacités de récupération incroyables, votre article lève donc mon interrogation. Néanmoins, je me demande maintenant

ce qui a fait apparaître cette différence physiologique dans leurs fibres musculaires. Était-ce une question de survie pour nos ancêtres ? Un besoin d'apprendre rapidement, car ils dorment plus que les adultes et leur journée est donc plus courte ? D'autres raisons ?

Philippe Gaudin, Saales (67)



S&V Si les enfants ont un métabolisme leur permettant d'enchaîner plus facilement d'intenses efforts répétés, ce pourrait justement être

afin de réussir à suivre les adultes. Lors d'une promenade, un enfant a besoin de plus d'énergie pour aller au même rythme que l'adulte. Il est donc possible qu'à la fin du Paléolithique, l'avantage de pouvoir récupérer plus rapidement durant les pauses ait été décisif. "Lorsqu'un clan migrait, les enfants se fatiguaient plus vite, car ils étaient obligés de marcher à la même vitesse que leurs parents", conjecture Anthony Blazevich, chercheur en biomécanique à l'université Edith Cowan, en Australie. Ce serait donc parce que les enfants se dépensent plus durant la journée qu'ils doivent dormir plus.

La mort est toujours présentée telle une entité, une personne. Même par vous. Pourquoi n'en dit-on pas autant de la naissance ?

Michel Delafosse, Montmartin-sur-Mer (50)



DOULOUREUSE LA MORT ?

Je me réjouis à chaque fois de vous lire. Mais dans votre article passionnant, à aucun moment vous ne mentionnez l'existence d'une douleur. L'ultime instant serait-il indolore ? Cela a été complètement zappé !

Michelle Langlois, internet

S&V La douleur étant un ressenti, mesuré à l'aide de questions, il paraît impossible de savoir si l'on souffre ou non aux portes de la mort – si un individu arrive à communiquer, c'est que la mort n'est pas encore là... Une équipe de l'Inserm a bien trouvé

un lien entre la douleur et la contraction des pupilles, mais pas sur des mourants. Reste que, dans les études analysant de nombreux témoignages d'expériences de mort imminente, il n'est jamais question de douleur. Sauf pour mentionner son absence...

Marre du foot!

Horreur! A la fin de votre article sur un magnifique télescope (S&V n° 1208), vous chiffrez une surface en terrains de foot. Alors que l'hectare, carré de 100 mètres cher à nos agriculteurs, s'est imposé depuis des décades comme mesure universellement admise, et tellement pratique. Pas vous! Laissez ce langage démagogique aux journalistes d'information ou aux politiciens, dont beaucoup savent très bien lire, écrire et parler, mais ignorent tout des chiffres. Et rappelons qu'un terrain de foot n'a pas de dimension imposée...

Jacques Allègre, Boisset-et-Gaujac (30)

LA TECHNOLOGIE SOVIÉTIQUE PLAGIÉE?

Dans votre article sur un "bateau volant" en phase de test (S&V n° 1210, p. 59), je suis étonné que vous présentiez comme nouveau un concept des années 1950... Ce n'est que le modèle réduit d'avions à effet de sol conceptualisés par un ingénieur russe sous le nom d'Ekranoplan, dont le plus gros exemplaire construit en 1966 pesait 500 tonnes...

Bernard Durand, internet

S&V Votre remarque est pertinente : l'Airfish 8 n'est pas le pre-

mier engin à effet de sol de l'histoire de l'aviation. Les Soviétiques avaient d'ailleurs bien compris l'intérêt d'utiliser de tels appareils qui consommaient moins de carburant que des bateaux classiques et voguaient plus rapidement. Toutefois, leurs applications étaient strictement militaires. À notre connaissance, aucune compagnie spécialisée dans le transport de passagers n'avait jusqu'à présent eu l'audace de reprendre ce concept. Et c'est cette nouveauté que nous souhaitons présenter dans nos pages.

On en reparle



BIENVENUE DANS L'ÂGE DU MEGHALAYEN

"Mais dans quelle époque vivons-nous?", s'interrogeait S&V en août 2012. Plusieurs géologues questionnaient la pertinence d'introduire dans leurs séries stratigraphiques l'Anthropocène – l'âge de l'homme... et de ses dégâts. Eh bien, la réponse de la Commission internationale de stratigraphie vient de tomber, et elle est surprenante : nous vivons à l'âge géologique du Meghalayen! Ce nom vient d'une région du nord-est de l'Inde, Meghalaya, où les chercheurs ont trouvé sur une stalagmite une trace spectaculaire d'une sécheresse survenue il y a 4200 ans. Un événement qui coïncide avec de nombreux bouleversements climatiques, et qui correspond à l'effondrement de civilisations ou à des migrations majeures en Égypte, Grèce, Syrie, Palestine, Mésopotamie, vallée de l'Indus... Les scientifiques y voient le dernier signal géologique, mondial et synchrone – conditions *sine qua non* pour définir le début d'une nouvelle époque. Rien à voir avec notre titanique activité industrielle... Fin de partie pour le concept d'Anthropocène? Pas du tout, défend Jan Zalasiewicz, de l'université de Leicester : "Nos travaux de définition continuent en parallèle, et le Meghalayen nous fournit un contexte environnemental précis et un point de comparaison utile pour mettre en évidence l'influence humaine". Affaire à suivre...

V. Nouyrigat

PEUGEOT 308



REPRISE
+ 3 600 €⁽¹⁾

NAVIGATION 3D CONNECTÉE AVEC INFO TRAFIC *

FREINAGE AUTOMATIQUE ANTI-COLLISION *

FABRIQUÉ
EN FRANCE

MOTION & EMOTION



PEUGEOT

* DE SÉRIE, EN OPTION OU INDISPONIBLE SELON LES VERSIONS.

(1) Soit 3 600 €, ajoutés à la valeur de reprise de votre véhicule, d'une puissance réelle inférieure ou égale à celle du véhicule neuf acheté. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus® du jour de la reprise, applicable à la version du véhicule repris, ou le cas échéant à la moyenne du cours des versions les plus proches de celui-ci, ledit cours ou ladite moyenne étant ajusté en fonction du kilométrage, des éventuels frais de remise en état standard et déduction faite d'un abattement de 15% pour frais et charges professionnels. Offre non cumulable, réservée aux particuliers, valable pour toute commande d'une 308, neuve et en stock, commandée avant le 31/10/2018 et livrée sur le mois de la commande dans le réseau PEUGEOT participant. Offre non valable pour les véhicules au prix PEUGEOT Webstore.

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL. Consommation mixte (en l/100 km) : de 3,5 à 5,7. Émissions de CO₂ (en g/km) : de 92 à 133.

BARRAGES EN QUESTIONS

Votre enquête (S&V n° 1212, p. 30) ne tient pas compte de l'accumulation de sédiments dans la retenue d'eau artificielle. Pourtant, l'apport incessant de particules solides d'origines naturelle et anthropique pourrait avoir une importance sur la durée des ouvrages ?

Guy Agnel, Hautes-Alpes (05)

S&V La structure des barrages n'est pas spécialement menacée par l'accumulation des sédiments. Pour autant, ces granulats remplissent peu à peu le fond des lacs-réservoirs et limitent ainsi leur capacité de stockage d'eau – ce qui restreint d'autant la capacité de régulation des crues, mais aussi le stockage d'énergie. Par ailleurs,

le manque de gravillons en aval se fait cruellement sentir pour les espèces de poissons qui les utilisent comme habitat. Enfin, ces sédiments ne sont plus transférés vers les régions côtières, ce qui a pour effet d'aggraver l'érosion. Autant de raisons qui peuvent conduire les pouvoirs publics à demander la destruction de certains barrages...

Vous nous expliquez que 18 769 moulins en France seraient susceptibles d'accueillir chacun une turbine de 1 MW alimentant 1 700 habitants. Cela fait combien de turbines pour le coût d'un EPR ?

Colas Rouanet, Toulouse (31)

S&V À 5 millions la turbine, il serait possible d'en construire 2 200 pour le prix d'un EPR – lequel est conçu pour ne produire que 1 600 MW. De quoi discréditer le nucléaire... Mais ce calcul ne tient pas compte du caractère prototype du réacteur

de Flamanville, ni de la difficulté de raccordement des turbines au réseau, ni de leurs contraintes environnementales. À vrai dire, les appels d'offre gouvernementaux sur les moulins n'ont récolté que 4 candidatures. En matière d'énergie, rien n'est simple...

On en reparle



L'ALCOOL TUE BIEN DÈS LE PREMIER VERRE

Dans notre numéro de novembre 2016, nous vous alertons sur les méfaits de l'alcool à doses "modérées". Plusieurs études suggéraient que le sur-risque de cancer surpasse, dès le premier verre, les éventuels bénéfiques cardiovasculaires. Cette analyse est confirmée par un réseau international de chercheurs qui a étudié l'ensemble des données publiées à ce jour. Certes, de faibles doses pourraient avoir un effet préventif contre les maladies coronariennes, avec un risque qui atteint son minimum pour une consommation de 0,83 verre par jour pour les hommes, et 0,92 verre par jour pour les femmes – un verre standard consiste en 10 grammes d'éthanol, l'équivalent d'une canette de bière de 37,5 cl à 3,5% ou de 10 cl de vin rouge à 13%. Mais en tenant compte de tous les effets nocifs, ce même verre fait augmenter de 0,5% le risque relatif de développer une des 23 pathologies étudiées (dont le cancer du sein), soit une hausse de 914 à 918 malades parmi 100 000 personnes entre 15 et 95 ans. Transposé à la population française de la même tranche d'âge, avec plus de 53 millions d'habitants, cela représente plus de 2 000 individus ! Sachant que les chiffres de consommation sont très alarmants : 93,2% des Français et 86,9% des Françaises boivent en moyenne respectivement 4,9 et 2,6 verres par jour !

I. El Hajj Mohamed

SCIENCE&VIE
LA BOUTIQUE Nouvelle boutique en ligne !
 Cadeaux scientifiques et insolites

+ de **> 600** Livres
 > Objets scientifiques
 > Idées cadeaux

Rendez-vous vite sur : boutique.science-et-vie.com

Dans les kiosques



LES MIRACLES À L'ÉPREUVE DE LA SCIENCE

Si la science a balayé nombre de certitudes auxquelles s'accrochaient les hommes depuis des siècles, c'est toujours par centaines que les pèlerins de Lourdes se déclarent guéris par la volonté divine. Que croire ? Qui croire ? Un dossier au carrefour de la science et de l'histoire. *Les Cahiers de Science & Vie*, 6,50 €



100 RÉPONSES DE SCIENCE

Comment peut-on avoir l'impression de flotter hors de son corps ? Que deviendra la matière lorsque l'Univers aura disparu ? Pourquoi se souvient-on si bien des odeurs ?... Le numéro automnal des 100 Question/Réponses est dans les kiosques. Avis à tous les curieux ! *Science & Vie Questions/Réponses*, 5,50 €

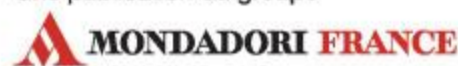


PLEINS FEUX SUR LA VOIE LACTÉE

C'est encore la saison pour l'observer sous nos latitudes. Et s'informer sur les dernières découvertes ! Car de nombreux mystères planent encore sur notre Galaxie. Comment est-elle née ? Quelle est sa dynamique ? Les nouveaux télescopes devraient bientôt nous éclairer. *Science & Vie Hors Série*, 5,90 €

SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT

Grégoire Bouillier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE

Valérie Greffoz (rédactrice en chef déléguée du site internet), Vincent Nouyrigat, Caroline Tourbe (science & société, médecine)

CHEFS DE RUBRIQUE

Mathilde Fontez (sciences fondamentales), Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol, Émilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

PREMIÈRE SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Anne Riera

MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrier (1^{re} maquettiste), Élisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo), Katia Davidoff, Boris Bellanger (chef de service infographie)

DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, K. Bettayeb, P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois, S. Brunier, A. Carpentier, G. Cirade, A. Dagan, S. Damiot, A. Debrouse, S. Devos, O. Donnars, I. El Hajj Mohamed, S. Fay, G. Gonzalez, F. Gracci, C. Hancock, E. Haentjens, R. Ikonicoff, S. Iskander, M. Kontente, A. Le Denn, H. Leroux, B. Perrin, N. Picard, A. Pihen, B. Rey, G. Siméon, E. Thierry-Aymé, F. de Vaugelas, M. Vaxelaire, J.-B. Veyrieras, D. Zilmia

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

ABONNEMENTS ET DIFFUSION

DIRECTEUR MARKETING CLIENTS/DIFFUSION

Christophe Ruet

ABONNEMENTS

Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Juliette Mesnil (responsable marketing direct)

VENTES AU NUMÉRO

Christophe Chantrel (directeur des ventes),
Siham Daassa (responsable ventes marché)
Jacky Cabrera (responsable ventes)

BOUTIQUE ET VPC

Sandrine Tiffreau (directrice vente à distance)
Arnaud Henaff (responsable marché)

MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF

Cécile Chambaudrie

CONTACTS PUBLICITÉ

Virginie Commun (50 28), Lionel Dufour (50 19)

PLANNING Angélique Consoli (53 52),
Stéphanie Guillard (53 50)

TRAFIC Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES

Véronique Besse (43 89)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD
(infolodon@publieurope.com –
44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich
(infomunich@publieurope.com
0049 89 2908150);

Suisse : Publieurope Lausanne
(infolausanne@publieurope.com
0041 21 323 3110);

Espagne : Publimedia Madrid
(infomadrid@publim-gestion.es
0034 91 212 83 00)

FABRICATION

Daniel Rougier, Agnès Châtelet

PRÉ-PRESSE

Sylvain Boularand (responsable de service)
Christophe Guérin (adjoint)

FINANCE MANAGER

Renaud Terrade

ÉDITEUR

MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex

directeur de la publication
Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 47,90 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 66,90 €

Dépôt légal : octobre 2018

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96. Par courrier :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,
CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Par internet : www.kiosquemag.com

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS

Par courrier :

8, rue François-Ory,

92543 Montrouge Cedex

Par mail : sev.lecteurs@mondadori.fr

COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@

laboutiquescienceetvie.com

AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL

Origine du papier : Allemagne.

Taux de fibres recyclées : 0 %.

Certification : PEFC. Impact sur

l'eau : Ptot 0,016 kg/tonne





APRÈS-VENTE DACIA, CHOISISSEZ L'ENTRETIEN SIMPLE ET PRÉCIS.



- Révision avec Pack Assistance d'1 an⁽¹⁾.
- 86 points de contrôle⁽¹⁾.
- Des prix serrés pour les véhicules de plus de 6 ans⁽²⁾.

Illustration : Thomas Bernard.

(1) Forfait réservé aux particuliers, sur les véhicules Dacia de moins de 8 ans (hors véhicules de PTAC > 3,5t). Le forfait comprend 86 points de contrôle (liste complète sur Dacia.fr, rubrique « Après-Vente », puis « Mon Entretien »), le remplacement des éléments conformément au programme d'entretien (huile, filtres...) avec des pièces d'origine Dacia, l'utilisation d'huile normée, et la garantie un an pièces et main-d'œuvre sur toutes les prestations. Vérifiez l'éligibilité de votre véhicule auprès du réseau Renault. Le forfait comprend également le prêt d'un véhicule de remplacement le jour de cette Révision, à titre gratuit, sous réserve de véhicule disponible, sans compensation financière ni dédommagement en cas de non disponibilité. Réservation du véhicule lors de la prise de rendez-vous, frais annexes à la charge du client. Conditions générales complètes du prêt en point de vente. L'achat d'un forfait Révision Dacia (hors Révision Éco) comprend également une Assistance en cas de Panne, Crevaison, Perte de clé, Accident et Inversion de carburant. Conditions générales complètes de l'offre disponibles sur Dacia.fr (rubrique « Mentions Légales », puis « Informations sur les Produits et Services »). (2) Les forfaits Prix Serrés sont composés d'une gamme de pièces de qualité équivalente aux pièces d'origine Dacia. Ils s'adressent aux particuliers propriétaires de véhicules Dacia de plus de 6 ans. Vérifiez l'éligibilité de votre véhicule auprès du réseau Renault. Exemple de forfait Dacia Prix Serrés : remplacement des balais d'essuie-vitres AV à 36€ TTC, tarif au 01/09/2018. Code forfait DVMNA0.


L'actu des sciences

Supernova

Nuages d'hydrogène

Amas des Arches

50 années-lumière





Sagittarius A*

< Cette image, la plus précise de notre Galaxie en ondes radio, montre, à droite, Sagittarius A*, le trou noir supermassif au centre de la Voie lactée.

ASTROPHYSIQUE

LES ONDES RADIO RÉVÈLENT LE CŒUR DE LA VOIE LACTÉE

Voici donc le chaos qui règne au centre de notre Galaxie. Dévoilée lors de l'inauguration du radiotélescope Meerkat, un réseau de 64 antennes de 13,5 m de diamètre implanté en Afrique du Sud, cette image est la plus précise jamais acquise en ondes radio de cette région située à 27 000 années-lumière. La photo couvre une zone du ciel large comme 4 pleines lunes. À gauche, les petites taches circulaires sont des traces d'anciennes explosions d'étoiles en supernovae. Juste à leur droite, les deux globes très lumineux sont de gigantesques nuages d'hydrogène moléculaire, dans lesquels des milliers

d'étoiles sont en train de se former. Plein centre, une énorme chape de gaz chauffée à 60 millions de degrés enveloppe l'amas des Arches, un essaim de 150 étoiles parmi les plus brillantes, mais invisibles dans cette longueur d'onde. Légèrement excentré, à droite, apparaît enfin le véritable centre de la Voie lactée, une fournaise dans laquelle trône Sagittarius A*, le trou noir supermassif de notre Galaxie. Enfin, les rayures sur l'image sont dues à des filaments de gaz de dizaines d'années-lumière de long, qui brillent en radio à mesure que leur gaz s'écoule le long des lignes du champ magnétique de la Galaxie. **B.R.**

SARAO



BIO-INGÉNIERIE

UN POUMON FONCTIONNEL A ÉTÉ ENTIÈREMENT RECRÉÉ EN LABO

C'est une première: l'immunologiste Joan Nichols (université du Texas, Galveston) vient de régénérer des poumons de porc en laboratoire et de les greffer avec succès sur quatre animaux. On n'avait en effet encore jamais recréé de toutes pièces un organe fonctionnel de cette taille! Des poumons ont d'abord été prélevés sur des porcs, avant d'être débarrassés de toutes leurs cellules vivantes. Chaque "moule" obtenu, surtout constitué de collagène, a été placé dans un incubateur etensemencé avec divers types de cellules prélevées sur le porc receveur. Au bout de trente jours de culture, le poumon a ensuite été implanté chez le receveur, dont le système vasculaire s'est connecté à lui dans les semaines qui ont suivi l'opération, lui apportant oxygène et nutriments. Pour Gilles Blancho, du centre hospitalier universitaire de Nantes, *"cela suggère qu'on pourra, un jour, reconstruire des poumons sains pour des personnes en attente de greffe, en cultivant les cellules du patient sur une matrice, pourquoi pas imprimée en 3D"*. **A.D.**

^ Ce poumon de porc (en rouge dans l'incubateur) a été totalement vidé de ses cellules vivantes, avant d'accueillir celles de son receveur.

J.E. NICHOLS/UNIV. OF TEXAS - FULL ADULT FLY TRACING COMMUNITY/
P. SCHLEGEL/DROSOPHILA CONNECTOMICS GROUP/UNIV. OF CAMBRIDGE



NEURO-IMAGERIE

VOICI À QUOI RESSEMBLE LE CERVEAU DE LA MOUCHE

Le cerveau de la mouche drosophile ne remplirait pas une tête d'épingle. Mais grâce aux 21 millions d'images collectées et numérisées par l'équipe de Davi Bock, à l'Institut Howard Hughes de Ashburn (États-Unis), on peut désormais plonger à l'intérieur et observer chacune de ses cellules, individuellement, à l'échelle nanométrique... À commencer par les

100 000 neurones qui gouvernent son comportement. "Nous disposons désormais d'une représentation exhaustive des cellules composant un cerveau, se félicite Christophe Leterrier, de l'université d'Aix-Marseille. Il va falloir maintenant interpréter cette énorme quantité de données: les connexions entre neurones, le trajet et le

traitement de l'information dans cet immense réseau. C'est un peu comme si on disposait d'une photographie satellite de l'ensemble du globe, mais sans en connaître les frontières ni le nom des villes..." Ce travail a débuté, et plusieurs réseaux neuronaux ont déjà été tracés dans cette microscopique mais formidable machine. A.D.

△ Sur cette numérisation du cerveau de la drosophile, les neurones voisins apparaissent de la même couleur.

ÉVOLUTION

LE POISSON-LANTERNE ENTRETIENT UNE RELATION INÉDITE AVEC SES BACTÉRIES

Dans la noirceur des océans profonds, la femelle baudroie abyssale apporte un peu de lumière... grâce à des bactéries bioluminescentes logées dans une ampoule portée sur le dessus de sa tête. Et cette symbiose entre bactéries et hôte, qui vient enfin d'être comprise, est totalement inédite. Des biologistes de l'université Cornell aux États-Unis ont en effet séquencé le génome de ces bactéries et constaté qu'elles avaient perdu des gènes impliqués dans la synthèse de nombreux acides aminés et de sucres. C'est donc la baudroie qui leur fournit tous les éléments nutritifs nécessaires, en échange de leur lumière qui attire proies et partenaires éventuels. Sauf que... *"Normalement, les bactéries symbiotiques vivent à l'intérieur des cellules hôtes et n'en sortent jamais, explique Tory Henry, l'une des auteures de cette étude. Les symbiotes des baudroies, eux, ne sont pas enfermés et se retrouvent dans l'eau de mer."* Plus étonnant : les bactéries continuent d'évoluer et de perdre les gènes nécessaires à leur survie en extérieur. Pour la biologiste, cette relation inédite pourrait être assez récente, et donc en cours d'évolution : *"La baudroie a peut-être déjà logé d'autres espèces dans le passé, mais pour une raison quelconque, elle a récemment recruté de nouvelles bactéries."* **O.D.**



> La baudroie alimente ses symbiotes, logés dans son ampoule, sans les retenir prisonniers, en échange de leur lumière qui attire les proies.

© 2018 DANTÉ FENOLIO - A. V. SHATILOVICH ET AL



MICROBIOLOGIE

DES VERS CONGELÉS PENDANT PLUS DE 30 000 ANS SE SONT RÉVEILLÉS!

La Yakoutie, en Sibérie, est décidément le terrain d'incroyables découvertes : c'est déjà de son sol gelé que proviennent les bébés mammoths et autres rhinocéros laineux

< Les deux femelles découvertes en Sibérie ont respectivement 32 000 et 41 700 ans.

qui font régulièrement l'actualité scientifique. Cette fois, la découverte est plus "petite", mais plus fascinante encore : des chercheurs de l'institut de physico-chimie de Moscou (Russie) et de l'université de Princeton (États-Unis) ont décongelé de minuscules vers ronds, d'à peine 50 micromètres (0,05 mm)



de largeur, pris dans le permafrost depuis des milliers d'années, et assisté à leur réveil une fois réchauffés ! D'après leur datation au carbone 14, ces vers, deux femelles des genres *Panagrolaimus* et *Plectus*, ont 32 000 et 41 700 ans et pulvérisent le précédent record de longévité détenu par un tardigrade, qui était de... trente ans ! Après avoir été dégelés, les nématodes ont montré des signes de

vie : ils ont bougé et se sont nourris, a annoncé publiquement l'équipe. En laboratoire, cette espèce avait déjà témoigné de très bonnes aptitudes à supporter la congélation. Mais cette découverte montre l'incroyable capacité de ces organismes multicellulaires à survivre à la congélation sur le très long terme. Une prouesse qui permettra de faire avancer la recherche sur la cryogénisation. **E.R.**

Ça reste à prouver...

LA LUNE AURAIT ÉTÉ HABITABLE PAR LE PASSÉ

*"Il y a dix ans, parler d'habitabilité de la Lune aurait été scandaleux." Dirk Schulze-Makuch, de l'université de l'État de Washington, est le premier à le reconnaître. "Mais depuis, on s'est rendu compte que sa surface n'a pas toujours été aussi sèche et morte qu'elle l'est aujourd'hui." C'est vrai : la découverte, en 2010, de glace piégée dans l'ombre permanente des pôles de notre satellite indique que de l'eau y était présente par le passé. Elle aurait été dégazée du sol lorsque des océans de magma baignaient encore la surface, il y a 3,5 milliards d'années. Selon David Kring (Nasa), cet épisode volcanique aurait en outre conféré à la Lune une véritable petite atmosphère de 10 mbar, pendant 70 millions d'années (lire S&V n° 1 203, p. 22). Eau et atmosphère, tout ça à bonne distance du Soleil... Rien n'exclut donc, selon Dirk Schulze-Makuch, que la Lune ait été habitable durant ce laps de temps. Peut-être même habitée ! En effet, suite à d'intenses bombardements météoritiques, des éclats de Terre auraient pu y retomber, inoculant de la vie terrestre ! Mais rien ne prouve que l'eau ait été présente à l'état liquide – contrairement à Mars, aucune trace de rivages sur la surface lunaire. Et les échantillons récoltés par les missions Apollo ne contiennent pas d'argile, fruit d'un contact prolongé entre des roches et de l'eau liquide. "C'est vrai, mais certains de ces échantillons montrent des traces d'érosion qui pourraient résulter de l'exposition à de l'eau liquide", objecte Schulze-Makuch. David Kring n'est pas aussi optimiste : "Personne n'a jamais pu montrer que cette atmosphère transitoire avait été assez épaisse pour stabiliser de l'eau liquide à la surface de la Lune. Seule la découverte d'argiles, dans de futurs échantillons lunaires, permettra de commencer à considérer sérieusement qu'elle fut un jour un berceau pour la vie." **B.R.***

GÉOCHIMIE

LES DIAMANTS BLEUS SE FORMENT ENTRE 400 ET 660 KM SOUS TERRE

Mais d'où viennent les atomes de bore qui donnent aux diamants bleus leur couleur ? De l'eau de mer enfouie dans les entrailles de la Terre, révèle l'équipe d'Evan Smith (Institut géologique d'Amérique, New York). Les géologues ont étudié les impuretés de près de 46 diamants bleus, ces éléments piégés au cœur de la pierre lors de sa cristallisation. Ils y ont identifié des minéraux qui ne naissent qu'entre 400 et 660 kilomètres sous la surface de la Terre, soit quatre fois plus profondément que la plupart des autres diamants ! C'est suprenant car le bore y est habituellement très rare. Les chercheurs pensent qu'il vient de l'eau de mer infiltrée dans le plancher océanique, où il aurait été stocké dans des minéraux, puis transporté dans les profondeurs du manteau.

"D'après nos observations, les diamants bleus se sont formés dans les zones de subduction, précise Evan Smith, là où une plaque océanique passe sous une autre et plonge dans le manteau, charriant avec elle les minéraux riches en bore marin." **E.H.**

< La couleur bleue est due à l'eau de mer infiltrée dans les profondeurs du plancher océanique.

en bref...

LA RÉSISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES EST FAVORISÉE PAR L'AIR POLLUÉ

L'analyse de l'air de 20 villes (San Francisco, Paris, Zurich, Pékin...) a montré la présence de 39 particules d'origine bactérienne, porteuses de gènes de résistance à 7 grands types d'antibiotiques. **O.D.**

TRÈS VIEILLES GALAXIES VOISINES

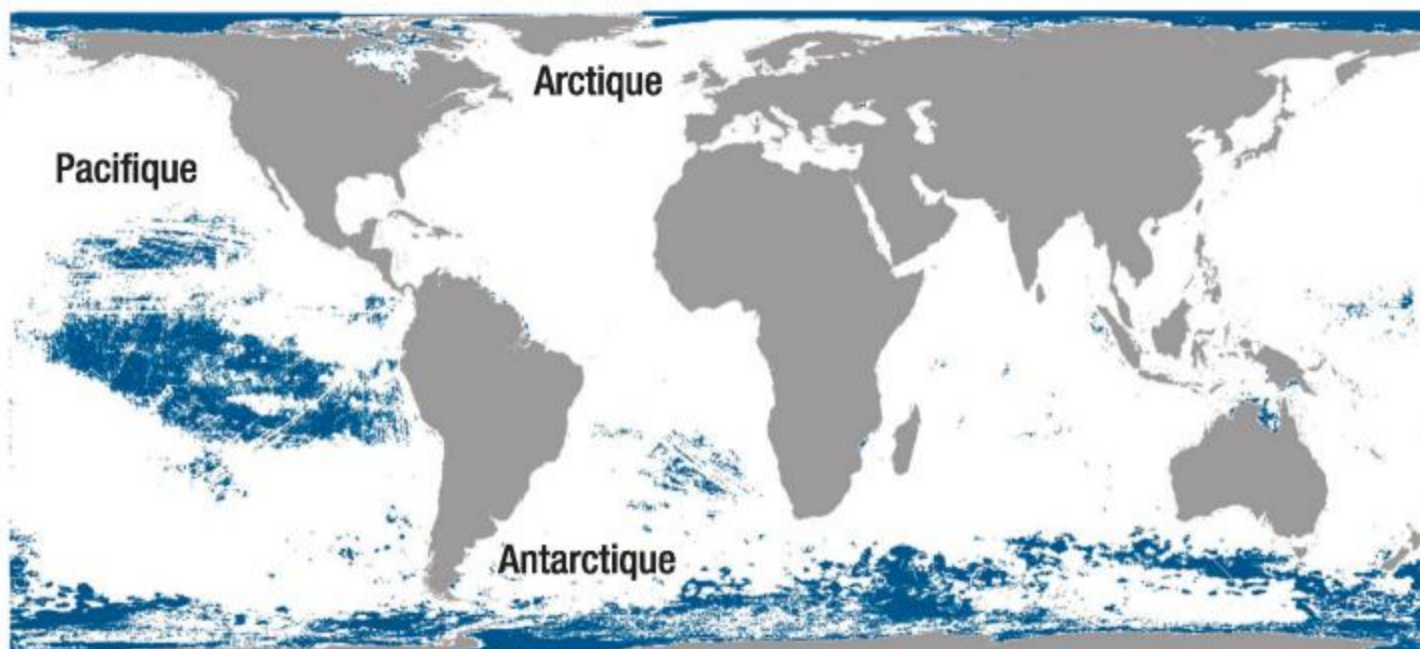
Segue-1, Bootes I, Tucana II et Ursa Major I, galaxies naines qui orbitent autour de la Voie lactée, sont parmi les plus vieilles de l'Univers. Toutes proches de nous, elles auraient plus de 13 milliards d'années d'existence. **V.G.**

TRANSFUSIONS ET BACTÉRIES, AMIES POUR LA VIE

Supprimer les molécules qui déterminent le groupe sanguin réduirait les problèmes de compatibilité. C'est en fait possible grâce à une simple enzyme produite par notre génial microbiote intestinal ! **E.A.**

OCÉANOGRAPHIE

SEULS 13% DES OCÉANS SONT ENCORE À L'ÉTAT SAUVAGE



SOURCE : CURRENT BIOLOGY, 2018

Zones épargnées par les activités humaines (pêche, trafic maritime, etc.)

DR - M.SPYROU ET AL/MPG

69%

des Français ne comprennent pas leur facture d'énergie.⁽¹⁾

**J'agis
avec
ENGIE**

**Suivez votre
consommation
au quotidien
en € plutôt
qu'en kWh!**

Découvrez le service Ma conso⁽²⁾ inclus dans toutes nos offres de marché électricité et gaz naturel sur particuliers.engie.fr

The logo for ENGIE, featuring a white curved line above the word "ENGIE" in a bold, sans-serif font.

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

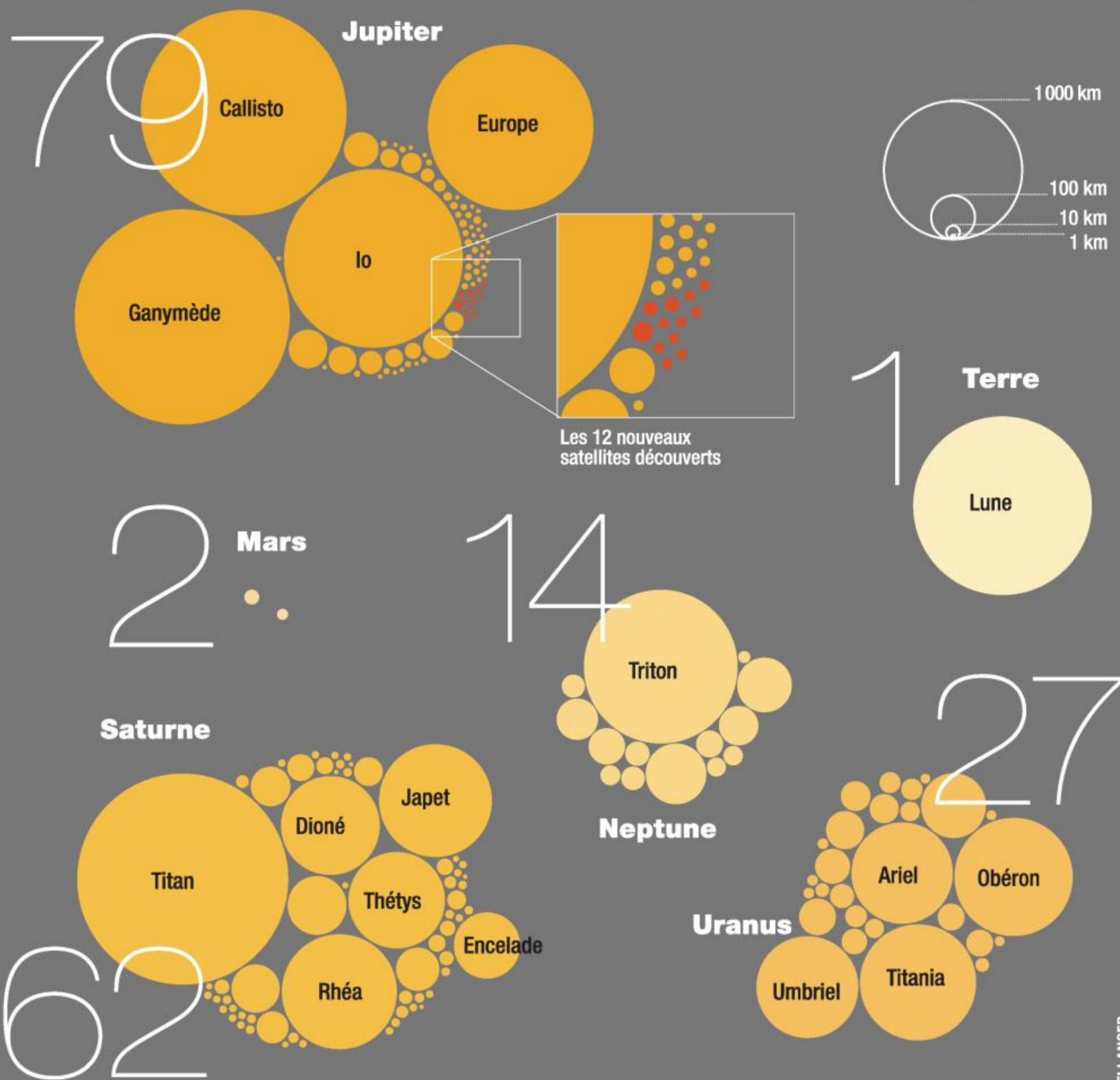
(1) Enquête IFOP pour ENGIE réalisée du 28 juin au 1^{er} juillet 2018 auprès d'un échantillon de 2662 personnes représentatives de la population française.
(2) Ma conso - service soumis à l'ouverture d'un Espace Client ENGIE. Voir conditions et détails du service sur particuliers.engie.fr

PLANÉTOLOGIE

JUPITER AUGMENTE SON RECORD DU PLUS GRAND NOMBRE DE LUNES

Avec 12 satellites récemment découverts, Jupiter est plus que jamais la planète la plus entourée du Système solaire. Elle en compte en effet 79, loin devant Saturne (62), Uranus (27), Neptune (14), Mars (2), la Terre (1)... Et Mercure et Vénus qui n'en ont aucun.

PAR VALÉRIE GREFFOZ



Source : Carnegie Institution for Science

B. BELLANGER

74%

des Français pensent
que l'électricité verte
coûte cher.⁽¹⁾

J'agis
avec
ENGIE

Profitez de
-30% sur votre
consommation
d'électricité
le week-end⁽²⁾ !

Souscrivez à l'offre verte⁽³⁾ Elec Weekend⁽²⁾
sur particuliers.engie.fr ou au 3993⁽⁴⁾

The ENGIE logo consists of a white curved line above the word "ENGIE" in a bold, white, sans-serif font.

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

(1) Enquête IFOP pour ENGIE réalisée du 25 au 27 juillet 2018 auprès d'un échantillon de 1 000 personnes représentatives de la population française.
(2) Offre Elec Weekend 2 ans : bénéficiez de -30% sur le prix du kWh HTT pendant les heures creuses en semaine et le week-end, par rapport au prix du kWh HTT en heures pleines de l'offre Elec Weekend 2 ans d'ENGIE. Offre de marché électricité indexée sur le tarif réglementé, réservée aux clients disposant d'un compteur Linky™. En souscrivant une offre à prix de marché, vous restez libre de revenir, à tout moment et sans frais, au tarif réglementé en électricité pour votre lieu de consommation, si vous en faites la demande. (3) Électricité verte : pour tout nouveau contrat d'électricité souscrit par un client particulier, à l'exclusion de l'offre électricité Happ-e, ENGIE achète l'équivalent de la quantité d'électricité consommée par le client en Garantie(s) d'Origine émise(s) par des producteurs d'énergie renouvelable. (4) Service gratuit + prix d'un appel.

3 DÉCOUVERTES SUR...

L'ORIGINE DES GRANDES ÉPIDÉMIES

Peste, lèpre et tuberculose sont encore responsables de terribles épidémies. Afin de mieux comprendre leur mode d'action, trois équipes scientifiques ont retracé l'histoire de ces trois fléaux.

PAR THOMAS CAVAILLÉ-FOL

1

L'Europe médiévale a été un carrefour de la lèpre

Si l'Europe ne connaît aujourd'hui plus la lèpre, elle a été un véritable carrefour dans son expansion. L'analyse de 90 squelettes anglais, italiens et danois datés entre 300 et 1 400 ans apr. J.-C. vient en effet de prouver que la plupart des souches connues de cette maladie étaient passées par l'Europe. Deux hypothèses, selon les chercheurs européens qui les ont étudiées : soit la lèpre est née en Eurasie de l'ouest, soit toutes ces souches y ont été introduites avant la période médiévale. Leur propagation aurait pu être amplifiée par le commerce d'écureuils (pour leur viande ou leur fourrure), que certaines souches anciennes pouvaient infecter.

2

La peste bubonique est apparue il y a 4 000 ans

Quand la bactérie *Yersinia pestis* a-t-elle acquis la capacité à infecter les puces, provoquant ainsi les épidémies de peste dite "bubonique" ? Des chercheurs allemands ont retrouvé sa trace en Russie, dans la tombe de deux individus décédés il y a 3 800 ans. Selon l'analyse du génome de ces bactéries, la peste bubonique serait née il y a 4 000 ans environ, 1 000 ans plus tôt qu'admis jusqu'alors, et possiblement dans les steppes eurasiennes.

3

L'Empire romain aurait exporté la tuberculose

En comparant les génomes de 552 bactéries responsables de la tuberculose, des chercheurs américains en ont retracé l'histoire. Originaires d'Afrique, elle s'est divisée en différentes souches il y a 5 000 ans environ. Mais si certaines sont restées cantonnées à des zones géographiques, d'autres se sont répandues dans le monde. C'est le cas de la souche L4, apparue au 1^{er} siècle apr. J.-C., et aujourd'hui très concentrée sur le pourtour méditerranéen. Selon les chercheurs, l'expansion de l'Empire romain aurait favorisé l'essor de cette souche.

ÉTHOLOGIE

LE MULTICULTURALISME RÉUSSIT AUX MOUCHES

La mouche drosophile communique avec ses camarades, et ce même d'une autre espèce. Mais, selon une étude de Balint Kacsoh (Dartmouth, États-Unis), elle aura plus de chances d'être comprise si les deux espèces ont déjà cohabité. En cas d'attaque de guêpes parasitoïdes, la drosophile lance l'alerte par un savant jeu de battements d'ailes, qui déclenche chez ses comparses une diminution de la ponte. Mais ce qu'ont découvert les biologistes, c'est que ces battements d'ailes sont mieux interprétés quand les espèces se sont déjà familiarisées avec leurs signaux visuels et olfactifs respectifs. Pour le Pr Giovanni Bosco, "c'est la première fois que l'on observe une variabilité dans la communication entre différentes espèces, qui pourrait s'apparenter à des sortes de dialectes". **E.H.**

3,22 milliards d'années

C'est la date d'apparition de la vie sur la Terre ferme. Une équipe internationale de biologistes a découvert, dans des sédiments d'Afrique du Sud, des traces de bactéries bien plus anciennes que les plus vieux fossiles terrestres connus à ce jour, les stromatolithes, datant de 2,7 milliards d'années. Ces bactéries fossiles ont été retrouvées dans des roches sédimentaires datant d'une époque où la Terre était encore un vaste océan, et les continents émergés rares. **O.D.**

M.SPYROU ET AL./MPG - G.HREN PHOTO INC

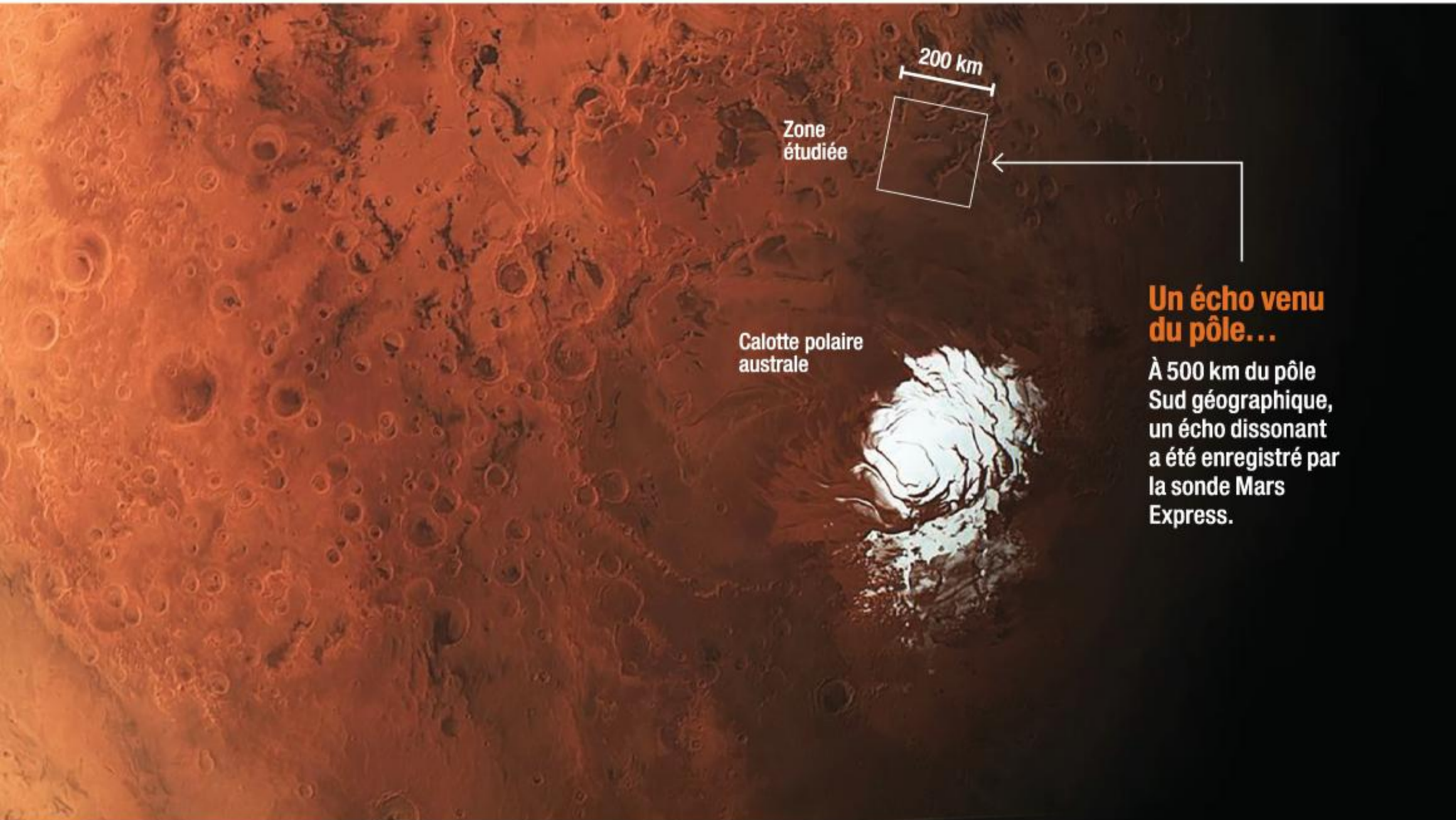


✓ Dès 2019, ce tissu investira les champs de la communication et du biomédical.

OPTOÉLECTRONIQUE

LES TEXTILES TISSÉS EN FIBRES OPTIQUES ARRIVENT

Une équipe emmenée par Michael Rein (groupe de Yoel Fink, au MIT, États-Unis) a fabriqué une fibre optique que l'on peut tisser, incorporant des composants tels que des diodes. Les chercheurs ont chauffé l'extrémité d'un barreau de polymère doté de deux trous accueillant des fils de cuivre, entre lesquels sont placés les composants. Une fois fondu, le barreau s'étire en une fine fibre, et les fils qui ne sont alors plus séparés que de quelques microns, viennent au contact des composants ainsi connectés. Même lavé plusieurs fois, le dispositif restait fonctionnel. Les premières applications, attendues dès 2019, concernent les communications et le biomédical. "L'oxygénation du sang pourrait être mesurée optiquement par un tel tissu", imagine le professeur Yoel Fink. **S.F.**



Un écho venu du pôle...
À 500 km du pôle Sud géographique, un écho dissonant a été enregistré par la sonde Mars Express.

PLANÉTOLOGIE

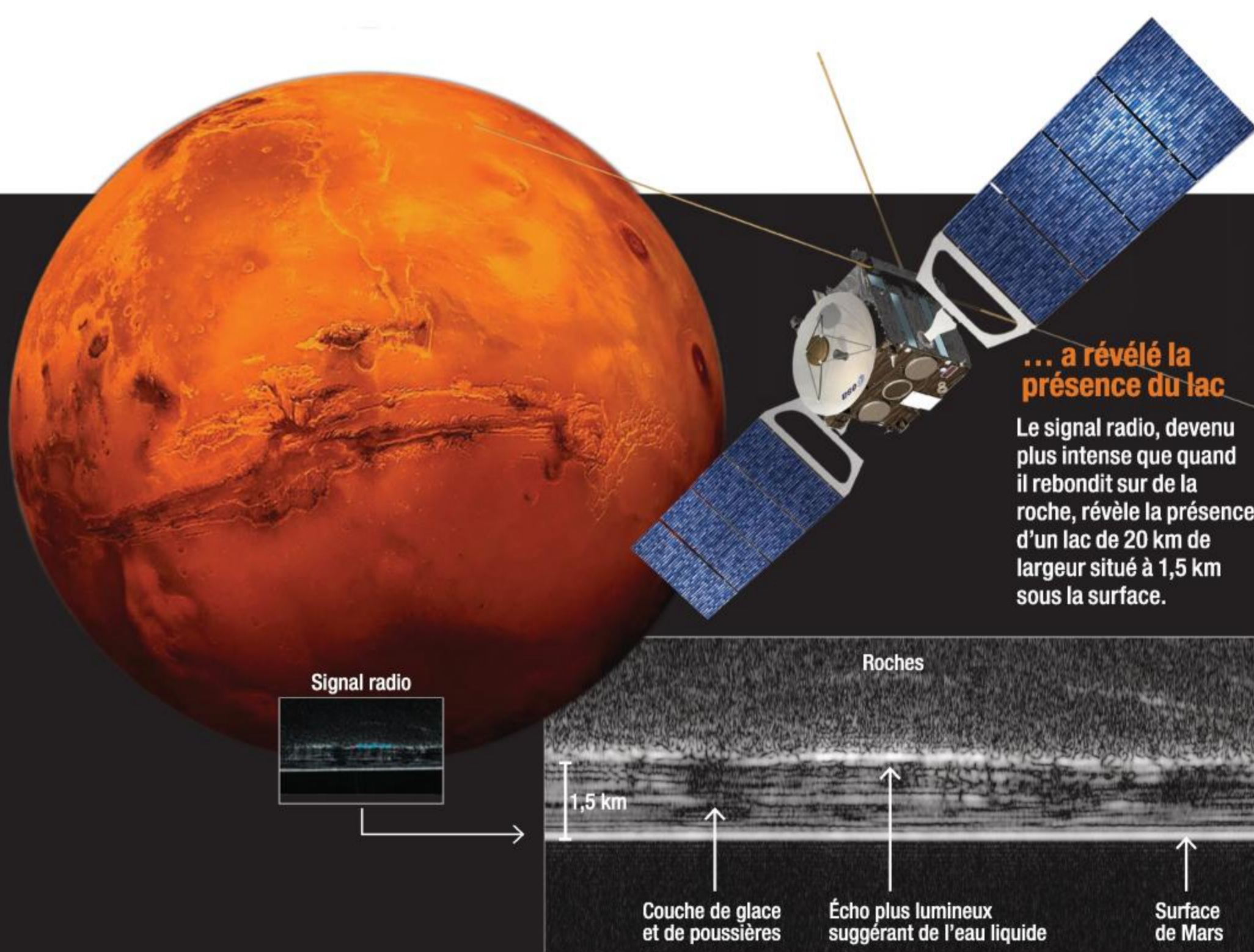
MARS POSSÈDE UN LAC SOUTERRAIN

La nouvelle a fait le tour du monde au mois de juillet. Et pour cause: on a enfin découvert la présence d'eau liquide stable sur une des planètes les plus proches de la Terre, à une profondeur relativement faible! Sans doute un petit lac salé.

PAR **BENOÎT REY**

On peut enfin l'affirmer avec certitude. On a trouvé de l'eau liquide sur la planète rouge. Ou plus exactement: sous la planète rouge. De l'eau liquide stable enfouie à seulement 1,5 km sous la surface de son pôle Sud... Un lac d'au moins 1 m de profondeur et de 20 km de largeur. Une première. Pour le découvrir, l'équipe italienne menée par Roberto Orosei, de l'Institut d'astrophysique de Bologne, a épluché les données récoltées entre 2012 et 2015 par la sonde européenne Mars Express. À chaque survol de la calotte glaciaire

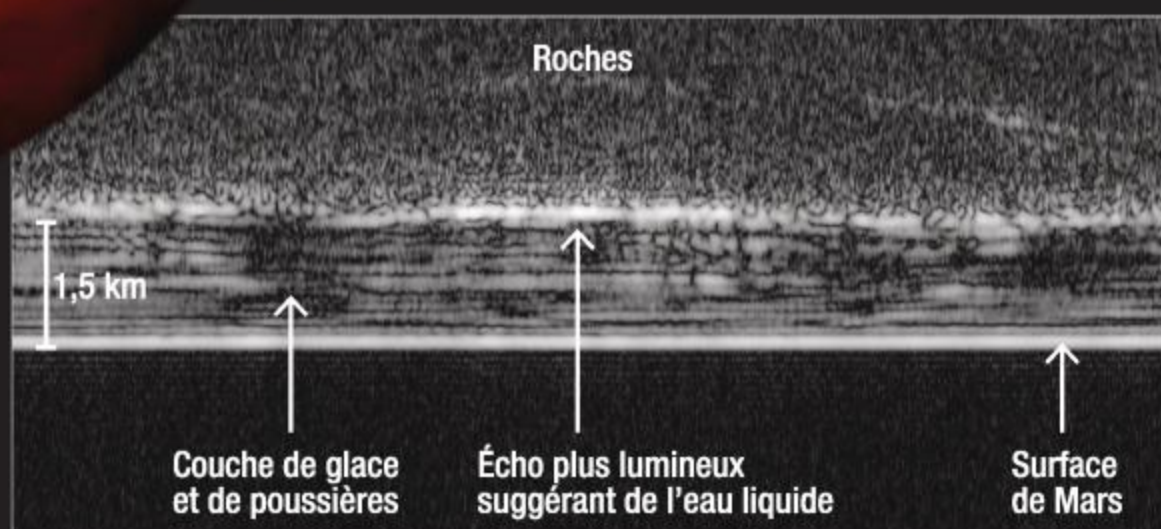
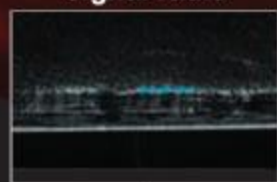
australe, son radar Marsis envoyait un signal radio qui traversait la glace et rebondissait sur la roche pour revenir vers la sonde. Mais l'écho était beaucoup plus intense au-dessus d'une petite zone, située à 500 km du pôle Sud géographique, indiquant la présence de... quelque chose d'autre, à l'interface entre la roche et la glace. "Seule de l'eau liquide peut donner un écho d'une intensité pareille, affirme Valérie Ciarletti, spécialiste de ces technologies au laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations spatiales, à Paris (qui n'a



... a révélé la présence du lac

Le signal radio, devenu plus intense que quand il rebondit sur de la roche, révèle la présence d'un lac de 20 km de largeur situé à 1,5 km sous la surface.

Signal radio



pas participé à l'étude). *Parmi les éléments naturels, c'est l'explication la plus évidente.* La plus évidente... et la plus probable, bien que la signature radar puisse aussi s'expliquer par des sédiments saturés en eau. De la gadoue, en somme.

UN REFUGE POUR LA VIE

"Nous sommes a priori face à un lac d'eau liquide, et surtout stable sur au moins plusieurs années", confirme Hervé Cottin, astrochimiste au laboratoire Lisa, professeur à Paris-Est Créteil. C'est là toute l'importance de la nouvelle pour la recherche

de vie extraterrestre : la vie a besoin d'eau liquide, et de temps pour éclore.

Sauf que la température du lac est estimée à -68°C . Or la pression, à cette profondeur, ne suffit pas à faire fondre la glace. C'est donc qu'elle est extrêmement riche en sels, probablement des perchlorates de magnésium, de sodium et de calcium, qui abaissent drastiquement son point de fusion. Le réservoir de Mars se révélerait donc bien plus salé que nos océans (et même que la mer Morte) qui, eux, gèlent à -2°C . Ce qui n'est pas bon signe pour la vie : les

sels neutralisent en effet les charges des molécules organiques, et empêchent la formation de molécules plus grandes et plus complexes. Le sel est néfaste pour l'apparition de la vie. *"C'est vrai, mais il ne faut pas confondre apparition et adaptation,* précise Hervé Cottin. *Sur Terre, on connaît des organismes qui vivent dans des environnements extrêmes en températures, en pH ou en salinité. La vie n'y est pas apparue, mais elle s'y est adaptée.*" Ainsi, si la vie est apparue sur Mars par le passé, peut-être certains organismes ont-ils trouvé refuge dans le lac,

et y barbotent-ils encore aujourd'hui, des milliards d'années plus tard, alors que les conditions à la surface sont devenues infernales. *"Mais peut-être aussi que la vie n'est jamais apparue sur Mars",* tempore le chercheur.

Quoi qu'il en soit, la présence d'eau liquide stable sous sa surface refait passer sur le devant de la scène une planète rouge un temps éclipsée par les lunes de Jupiter et de Saturne (notamment Europe et Encelade), jusqu'ici les seuls corps du Système solaire à posséder un océan d'eau liquide souterrain.

GÉNÉTIQUE

UNE SALAMANDRE BAT DES RECORDS D'EXISTENCE SANS MÂLE

En reconstituant l'évolution génétique de la salamandre *Ambystoma*, une équipe de l'université de l'Ohio (États-Unis) a percé le secret de la longévité de cette espèce unisexuelle, qui se reproduit par clonage... et vol de gènes. Si *Ambystoma* a besoin d'un contact avec les spermatozoïdes d'espèces

voisines pour initier le développement de ses œufs, l'ADN du spermatozoïde est ensuite, en principe, rapidement éliminé. Et la comparaison de séquences génétiques d'*Ambystoma* et de deux espèces proches indique qu'elle résiste ainsi depuis 3,4 millions d'années ! Comment ? La salamandre

aurait bénéficié, à certaines périodes, d'un apport de gènes extérieurs : certains œufs ont donc ponctuellement incorporé des gènes mâles d'espèces voisines. Une forme de sexualité "furtive" sans laquelle cette lignée de salamandres femelles se serait peut-être éteinte depuis longtemps. **A.D.**



< L'*Ambystoma*, spécialiste de la descendance femelle et du vol de gènes mâles depuis 3,4 millions d'années.

OPTIQUE

LE LASER SE DÉCLINE EN ONZE COULEURS

Les laboratoires Sandia (États-Unis) ont mis au point un filtre microscopique qui permet d'obtenir onze couleurs de laser, de l'infrarouge à l'ultraviolet. Il s'agit d'une plaque d'arséniure de gallium, gravée de manière à constituer un réseau de cylindres cent fois plus fins qu'un cheveu. Ces structures piègent les photons (particules de lumière) et en produisent de nouveaux, modifiant leurs trajectoires et leurs longueurs d'onde, et donc leurs couleurs. Même si l'ingénieur Igal Brener sait que "l'efficacité du dispositif doit être améliorée", il lui voit déjà de nombreuses applications (en analyse chimique, armes antimissiles, télédétection...). **A.D.**

BACTÉRIOLOGIE

LES BACTÉRIES SE PARLENT... COMME ON FAIT LE CAFÉ !

Eh oui ! Par le même mécanisme que celui à l'œuvre dans les machines à expresso ou les plates-formes pétrolières : la percolation. Organisées en communautés appelées "biofilms", les bactéries s'envoient des signaux électrochimiques. Des biologistes de l'université de Californie ont observé cette transmission par microscopie à fluorescence, en colorant,

au centre d'un biofilm, les bactéries émettrices. Le signal dure environ vingt minutes, se propage sur une distance d'au moins 500 fois la longueur d'une bactérie, et ne se transmet que si les bactéries forment des agrégats. "Le signal se fraie un chemin tortueux à travers ces agrégats", explique Joseph Larkin, coauteur de l'étude. "Comme l'eau au travers du café moulu..." **O.D.**



> Les bactéries porteuses d'un signal électrochimique (en rose) se regroupent en agrégats.

Z. HERR / ZTH PHOTOGRAPHY - SUELL LAB. / UC SAN DIEGO

**ON N'A PAS INVENTÉ LA FAMILLE,
MAIS LA VOITURE QUI VA AVEC.**



NOUVEAU CITROËN BERLINGO

PAR LE CRÉATEUR DU LUDOSPACE



Modutop®*
19 aides à la conduite*
2 longueurs en 5 & 7 places*
3 sièges arrière individuels et escamotables*
Jusqu'à 1 050 l de volume de coffre*
4 technologies de connectivité*
Lunette arrière ouvrante*

À PARTIR DE
199€
 /MOIS⁽¹⁾

SANS CONDITION,
 LLD 36 MOIS/30 000 KM
 APRÈS UN 1^{ER} LOYER DE 2 700 €

3 ANS OFFERTS :
ENTRETIEN, GARANTIE



**INSPIRED
BY YOU**

CITROËN préfère **TOTAL**. Modèle présenté : Nouveau Citroën Berlingo Taille M PureTech 110 S&S BVM6 Shine avec options Accès et démarrage mains libres, Pack Enfant, Pack Park Assist, Ambiance Wild Green avec Pack XTR et peinture nacrée (324 €/mois après un 1^{er} loyer de 3 000 € selon les conditions de l'offre détaillée ci-après). (1) Exemple pour la Location Longue Durée sur 36 mois et 30 000 km d'un Nouveau Citroën Berlingo Taille M PureTech 110 S&S BVM6 Live neuf, hors option ; soit un 1^{er} loyer de 2 700 € puis 35 loyers de 199 € incluant l'assistance, l'extension de garantie et l'entretien offerts pour 36 mois et 30 000 km (au 1^{er} des deux termes échu). Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives. Offre non cumulable, valable jusqu'au 31/10/18, réservée aux particuliers, dans le réseau Citroën participant et sous réserve d'acceptation du dossier par CREDIPAR/PSA Finance France, locataire gérant de CLV, SA au capital de 138 517 008 €, n° 317 425 981 RCS Nanterre, 9 rue Henri Barbusse CS 20061 92623 Gennevilliers Cedex. Le Contrat de Service Garantie & Entretien peut être souscrit seul, sans location, selon conditions disponibles dans le Réseau Citroën participant. *De série, en option ou non disponible selon les versions. † Détails sur citroen.fr.

CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO₂ DE NOUVEAU CITROËN BERLINGO : DE 4,1 À 5,5 L/100 KM ET DE 108 À 125 G/KM.

Science & société

Enquête



4 DATES À RETENIR

1839

Le médecin Samuel George Morton publie *Crania Americana*, censé donner une première base scientifique au racisme : il établit une hiérarchisation basée sur le volume du cerveau allant des "caucasiens" aux "négroïdes".

SHUTTERSTOCK

1951

L'Unesco publie *La Question des races*, déclaration s'efforçant de donner un socle scientifique à la condamnation du racisme, une décennie après les horreurs commises par les nazis au nom de la science.

2000

L'achèvement du *Projet Génome humain (HGP)* donne lieu à une cérémonie en présence du président américain, où le généticien Craig Venter affirme qu'il n'y a pas de base scientifique ou génétique au concept de race.

2018

Le terme "race" présent dans le premier article est en passe d'être retiré de la Constitution française.

Le 12 juillet dernier, les députés votaient la suppression du mot “race” dans la Constitution. Une décision qui interroge la science quand nombre de travaux, notamment en génétique et en médecine, s'appuient sur cette notion, sans lien aucun avec une quelconque idéologie raciste. Pour autant, l'embarras est là. Et bien là.

PAR YVES SCIAMA

La science peut-elle se passer du mot “race” ?

5 RACES...

Le bureau de recensement américain distingue officiellement 5 races – sachant que le classement se fait par auto-identification et que les recensés peuvent cocher plusieurs appartenances depuis l'année 2000.

▶ **Blancs**

▶ **Noirs ou Afro-Américains**

▶ **Indiens d'Amérique** (incluant l'Alaska, les Amériques du Sud et centrale)

▶ **Asiatiques**

▶ **Natifs d'Hawaii** (ou des îles du Pacifique)

C'est à l'unanimité – ce qui n'est pas si courant –, que les 119 députés présents dans l'hémicycle ont décidé le 12 juillet dernier de supprimer le mot "race" de la Constitution française. Rédigé en 1958, l'article 1^{er} stipulant que la France "assure l'égalité devant la loi de tous les citoyens sans distinction d'origine, de race ou de religion" deviendrait "... sans distinction de sexe, d'origine ou de religion". Exit la "race", donc.

LE CONSENSUS S'EFFONDRE

Pour justifier ce changement, les défenseurs de l'amendement ont avancé – entre autres arguments – que le terme "race" est "scientifiquement infondé". Une idée que le principal scientifique de l'Assemblée, le mathématicien Cédric Villani, a prudemment nuancée en rappelant que la science "peut toujours évoluer", et que la suppression doit donc plutôt se fonder

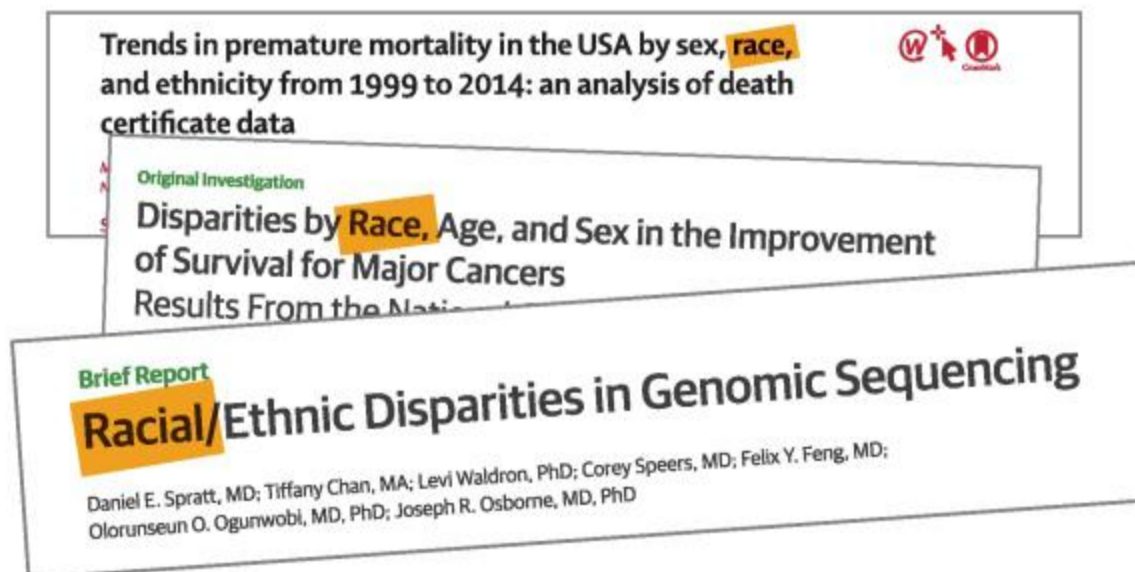
sur "l'empathie et le sens du destin commun" avec toute l'humanité.

Une prudence bienvenue, tant la notion de race embarrasse la communauté scientifique. "Cette question est compliquée pour tout le monde et pour nous pas moins que pour les autres", reconnaît Catherine Bourgain, généticienne et chercheuse à l'Inserm. Car on assiste depuis une quinzaine d'années à un puissant regain de la recherche sur les variations et différences génétiques entre populations humaines. Dans le monde anglo-saxon, nombreux sont les chercheurs qui n'hésitent pas, dans leurs publications, à l'employer ouvertement le terme – alors que sur le Vieux Continent, où depuis les crimes nazis il est plus souvent proscrit, l'on préfère s'abriter derrière les mots "ethnie", "groupe humain", "population", "origine", "ascendance" et autres substituts pudiques également très employés outre-Atlantique.

Mais inutile de se voiler la face: on assiste bel et bien à l'effondrement d'un consensus. Jusqu'aux années 2000, les scientifiques

L'usage du mot "race" est courant en recherche, fondamentale...

Le terme apparaît régulièrement dans les journaux de publications scientifiques, une littérature presque exclusivement anglophone: de nombreux chercheurs, en particulier aux États-Unis, l'utilisent dans le compte rendu de leurs résultats.



considéraient dans leur grande majorité que l'espèce humaine est extrêmement homogène génétiquement, que les gènes codant pour la couleur de peau ne reflètent presque en rien le reste de la structure génétique, et que le brassage constant des populations a empêché la formation d'identités génétiques locales fortes. Autant d'idées défendues par les généticiens les plus éminents, tels Stephen Jay Gould ou Craig Venter, l'artisan le plus connu du Projet Génome humain, qui déclarait encore en juin 2000 que "le concept de race n'a aucune base génétique ou scientifique".

Or, si certains chercheurs continuent à défendre cette vision, d'autres considèrent désormais qu'elle est datée et naïve. Ou même, comme

David Reich, très respecté généticien de Harvard, qu'elle est devenue une "orthodoxie", autrement dit un point de vue sclérosé et moralisant qui ne prend plus en compte la réalité.

Car, depuis le début du millénaire, la communauté des généticiens, nombreuse, bien financée et armée d'outils dont la puissance progresse à une vitesse vertigineuse, a exploré à une échelle sans précédent les différences biologiques entre groupes humains (depuis la susceptibilité aux maladies ou la sensibilité aux médicaments, jusqu'aux aptitudes cognitives). Et force est de constater que les groupes humains explorés dans ces recherches recouvrent souvent les anciennes catégories raciales qui se sont



CATHERINE **BOURGAIN**
Généticienne à l'Inserm

Cette question est compliquée pour tout le monde, et pour nous pas moins que pour les autres

H. TRIAY/OPALE/LEEMAGE - DR



... et dans la recherche médicale

Certaines molécules n'ont pas les mêmes effets suivant l'origine du patient. Le bosutinib et le rosuvastatine, par exemple, s'avèrent plus dangereux pour les personnes d'origine asiatique. Le Bidil, lui, est un médicament adapté à des populations d'origine africaine.

constituées au cours du XIX^e siècle. En particulier la subdivision continentale, reprise aux États-Unis par les autorités administratives, en 5 catégories (voir page précédente). Au point que certains historiens des sciences ont parlé, à propos de la dernière décennie, de "décennie de la race".

LA RECHERCHE S'ACCÉLÈRE

Le problème, c'est que ce concept est lui-même délicat à définir précisément. Dans l'état actuel de la science, la plus petite unité de classification du vivant universellement acceptée est la notion d'espèce, généralement définie comme un groupe d'organismes interféconds et morphologiquement semblables.

Les chercheurs s'accordent aussi à dire que

ces espèces se divisent en sous-espèces lorsqu'il s'agit d'animaux (et en variétés lorsqu'il s'agit de plantes), la destinée naturelle d'une sous-espèce ou d'une variété étant soit de devenir une espèce à part entière, soit de revenir se fondre dans l'espèce de départ. Mais il s'agit ici de subdivisions sans cesse redessinées, basées sur l'isolement reproducteur, dont on sait la validité limitée.

Et le concept de race alors? Le seul contexte dans lequel ce mot est couramment utilisé sans contestation, c'est pour désigner des groupes d'animaux d'élevage ou de compagnie, ayant subi un long, patient et minutieux processus de sélection. Processus au terme duquel ils présentent un ensemble important de

caractéristiques communes héréditaires, aussi bien comportementales que métaboliques. La race serait donc une sorte de sous-espèce artificiellement renforcée – le mot n'est jamais utilisé pour catégoriser des espèces sauvages.

Cette définition est-elle directement applicable à l'espèce humaine? Nous ne sommes pas à proprement parler une espèce domestique. Et notre histoire est tout à fait singulière au regard de l'ensemble du vivant – comme en témoigne la découverte récente d'un hybride entre deux espèces d'*Homo* différentes, né il y a 90 000 ans (lire p. 82). En tout cas, personne ne reconnaît actuellement de sous-espèce à *Homo sapiens*, ce qui est probablement une conséquence de son caractère exceptionnellement mobile et exploratoire. Et les mots scientifiques nous manquent pour décrire les catégories de notre propre diversité.

Bien sûr, de telles subtilités de vocabulaire n'ont pas empêché l'accélération prodigieuse des recherches dans ce domaine.

Un des moteurs a été l'intérêt pour l'ascendance, qui a fait fleurir un lucratif marché des tests génétiques. Un exemple? La société américaine 23andMe, dont la valeur boursière dépasse le milliard de dollars, propose à ses clients, à l'instar de ses concurrents, une analyse de leur génome susceptible de leur révéler, par exemple,

que 60% de leurs gènes sont issus d'une région d'Afrique de l'Ouest, 20% de Prusse orientale et que le reste se répartit entre deux ou trois autres régions. Des résultats (invérifiables, font observer certains) qui suscitent un engouement planétaire, "particulièrement fort parmi les Américains noirs, que l'esclavage a radicalement coupés de leurs racines", note Catherine Bourgain.

L'autre moteur de l'accélération des recherches est la génétique médicale, aux enjeux sanitaires majeurs et qui mobilise des sommes encore plus énormes. Il s'agit ici de rechercher des associations entre certains profils génétiques et la susceptibilité à des

Par quoi remplacer le mot "race"?

Ethnies? Ce mot a l'avantage de mieux véhiculer le caractère en partie culturel des groupes considérés.

Origines? Il met en avant la dimension géographique de la diversité.

Ascendance? Il souligne qu'il s'agit de filiations.

Population? Neutre, il permet de désigner des groupes sans présager de leurs caractéristiques. Notons cependant que ces termes utilisés pour éviter les travers du mot "race" peuvent aussi servir des visions du monde fondées sur la hiérarchisation entre humains.

→ maladies ou des sensibilités à certains médicaments.

Un exemple ? Bernard Jégou, de l'Inserm et de l'École des hautes études en santé publique, indique "qu'aux Antilles, la probabilité d'avoir un cancer de la prostate est deux fois plus élevée si on descend d'ancêtres originaires d'Afrique que si on est blanc ; tandis que si vous avez un cancer du testicule, il y a 99 % de chances pour que votre famille soit originaire d'Europe".

la notice signale le danger du dosage le plus élevé si l'on est "d'origine asiatique (japonais, chinois, philippin, vietnamien, coréen et indien)".

DES DONNÉES ETHNIQUES...

Ce qui interroge, soit dit en passant, l'interdiction faite en France aux chercheurs de collecter les données ethniques, notamment lors des essais cliniques. "Même grossières, ces données ethniques représentent

observait dans une tribune récente publiée par le *New York Times* que de plus en plus d'études parvenaient à associer certaines combinaisons de variants génétiques aux performances à certains tests d'intelligence, ou à la durée des études. Les biologistes (et David Reich lui-même) ont beau répéter qu'une association n'est pas un lien de causalité, et qu'un test "d'intelligence" ne mesure que des aptitudes étroites, on voit

aux États-Unis une prise de conscience que les minorités ethniques, et notamment les Noirs, étaient particulièrement en mauvaise santé, que la recherche ne prenait pas en compte leur situation particulière ou les maladies dont ils souffraient le plus, ni ne les faisait participer aux essais cliniques – les médicaments étant principalement testés sur les Blancs", explique la chercheuse.

Il en a résulté une mobilisation générale, notamment au tout-puissant NIH (l'Institut national de la santé, principal financeur public de la recherche biomédicale au monde), qui a abouti à ce que toute étude sanitaire ou médicale collecte obligatoirement des données raciales en même temps que le matériel biologique. "Ces données n'ont rien de génétique, souligne Catherine Bourgain, elles sont administratives ou déclaratives, autrement dit, elles indiquent comment le patient se perçoit. Et au départ, tout le monde avait conscience qu'il s'agissait d'une catégorie sociopolitique et pas biologique. Mais une fois que c'est dans le jeu de données, et que les données circulent, cette conscience s'estompe, et les généticiens finissent par oublier d'où ça vient."

Mais n'est-il pas possible d'étudier sereinement et scientifiquement des différences entre populations sans alimenter les préjugés ? "En principe oui, bien sûr, remarque Luc Berlivet, sociologue au CNRS

Et la distinction entre les sexes ?

Dans la nouvelle Constitution, le mot "race" va être remplacé par le mot "sexe" : Françaises et Français vont devenir égaux devant la loi "sans distinction de sexe, d'origine et de religion". Au pays qui a inventé les Droits de l'Homme, mais longuement retardé le moment de les étendre aux femmes, cette affirmation de l'égalité en droit des sexes est notable. Même si la biologie comme la médecine ont tardé à la prendre en compte (voir notre dossier "Les médicaments qui soignent mieux les hommes que les femmes", S&V n° 1163), cette catégorisation de l'humanité ne fait pas débat au sein de la science : c'est entre hommes et femmes qu'existent les plus grands écarts de génome ou de métabolisme. Plus qu'entre les "races".

Sur le terrain clinique, ces recherches ont des incidences pratiques qui sont devenues le quotidien des médecins. Et elles se retrouvent parfois explicitement dans les notices de certains médicaments. Par exemple, dans celle du bosutinib, un anticancéreux, on peut lire qu'un effet secondaire important s'observe "surtout chez les patients asiatiques". Même chose pour la rosuvastatine, un médicament contre le cholestérol massivement prescrit, dont

pourtant des données génétiques dont on a besoin", regrette une cancérologue qui souhaite garder l'anonymat. Pour établir leurs résultats sur les cancers aux Antilles, les chercheurs ont été obligés de demander aux patients si leurs quatre grands-parents étaient nés aux Antilles – une réponse affirmative signifiant presque automatiquement que le patient était noir...

Mais les choses vont encore plus loin, et commencent à toucher à la cognition. David Reich

facilement les interprétations racistes que susciteront les écarts dans la fréquence de ces variants que l'on ne manquera pas, un beau jour, de trouver...

Paradoxalement, une cause importante de la "racialisation" de la génétique, pour reprendre le mot de Catherine Bliss, de l'université de Californie à San Francisco (UCSF), auteure de *La Race décodée* (non traduit), a été le combat contre les discriminations en Amérique ! "Car dans les années 1990 a eu lieu



OLEG BOGDANOV/VEEEM/GETTY IMAGES - WARESH PAWAR/VEEEM/GETTY IMAGES

Espèce
Canis lupus

Sous-espèce
Canis lupus
familiaris

Race
Dalmatien



Indissociable de l'élevage, la notion de "race" s'applique aux animaux domestiques...

Pour les chiens, les vaches ou les chevaux, les éleveurs utilisent ce rang taxinomique informel afin de sélectionner des caractéristiques morphologiques ou comportementales.

et spécialiste de ces problèmes. *la différence n'implique pas la hiérarchisation. Mais en pratique, il faut bien reconnaître que, dans l'histoire, la hiérarchisation est toujours venue avec l'étude des différences – les militants antiracistes ont raison de nous rappeler que l'on glisse facilement de l'un à l'autre...*

METTRE DES GUILLEMETS

Nombre de généticiens, au final, considèrent que le mot "race", avec ses lourdes connotations historiques, et sa nature à l'évidence sociale, ne devrait pas être utilisé en biologie. David Reich lui-même ne s'en sert jamais sans guillemets. Mais il n'en plaide pas moins qu'il va falloir développer une façon "moderne et hon-

nête" de discuter d'éventuelles "différences substantielles" entre groupes humains, sous peine d'être pris de court et démunis si de telles différences venaient à être découvertes.

Une chose est sûre en tout cas, les vicissitudes du mot race montrent à quel point il est contre-productif de demander à la science de définir les valeurs régissant les relations entre les humains: la biologie a d'abord été convoquée pour justifier l'inégalité extrême générée par l'esclavage et la colonisation, puis dans l'après-guerre pour théoriser une égalité parfaite entre groupes humains. Or, si l'humanité, au terme de dix mille ans d'évolution de la pensée morale, philosophique



Espèce
Canis lupus

Sous-espèce
Canis lupus lupus

... mais jamais aux animaux sauvages

et scientifique, souhaite vivre en accordant à chacun de ses membres les mêmes chances et les mêmes droits, pourquoi diable aurait-elle besoin de l'onction des toutes dernières recherches sur le génome pour le faire? Si la diversité est un sujet d'ordre scientifique, l'égalité, elle, est un choix d'ordre moral. ■

Pour les loups, les pinsons ou les moustiques, les spécialistes parlent de sous-espèces (et les botanistes de variétés) pour décrire des populations qui appartiennent toujours à la même espèce, mais qui ont commencé à diverger, souvent par éloignement géographique.

En Europe, la qualité de l'eau ne s'améliore pas vraiment

1

France

Des contrastes

L'état écologique des masses d'eau est influencé par les pollutions, notamment agricoles, et par les aménagements (digues, barrages). "Or, agriculture et aménagements sont importants sur le bassin Bretagne-Loire, d'où un état plus dégradé que dans la zone Rhône-Méditerranée-Corse", explique Benoît Fribourg-Blanc, de l'Office international de l'eau.

2

Allemagne

Le mauvais élève

Seulement 7 % de ses eaux de surface présentent un état écologique satisfaisant ! En cause, la grande densité de population et le développement économique important, mais

surtout un aménagement massif des cours d'eau (de gros cours d'eau de plaine, dont la circulation lente est plus sensible à la pollution).

3

Roumanie

En bonne place

L'inverse de l'Allemagne. "À l'exception du Danube, ses cours d'eau sont de petite taille et donc moins pollués et moins aménagés. Si l'on ajoute un développement économique moindre mais aussi un réseau de mesure moins dense, cela explique sa bonne place", détaille Benoît Fribourg-Blanc.

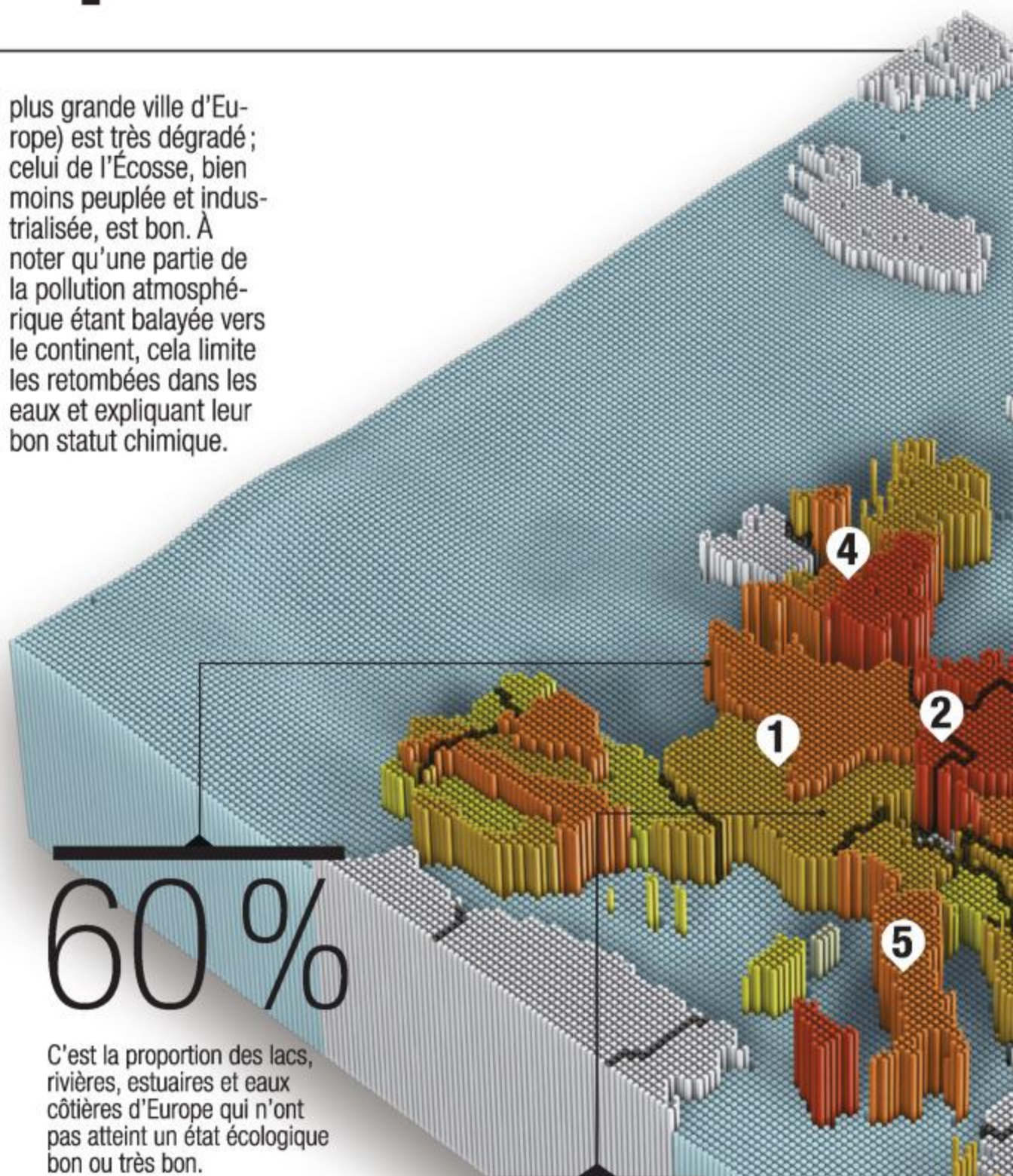
4

Royaume-Uni

Un reflet exact des activités

Le statut écologique du bassin de Londres (la

plus grande ville d'Europe) est très dégradé ; celui de l'Écosse, bien moins peuplée et industrialisée, est bon. À noter qu'une partie de la pollution atmosphérique étant balayée vers le continent, cela limite les retombées dans les eaux et expliquant leur bon statut chimique.



60%

C'est la proportion des lacs, rivières, estuaires et eaux côtières d'Europe qui n'ont pas atteint un état écologique bon ou très bon.

208

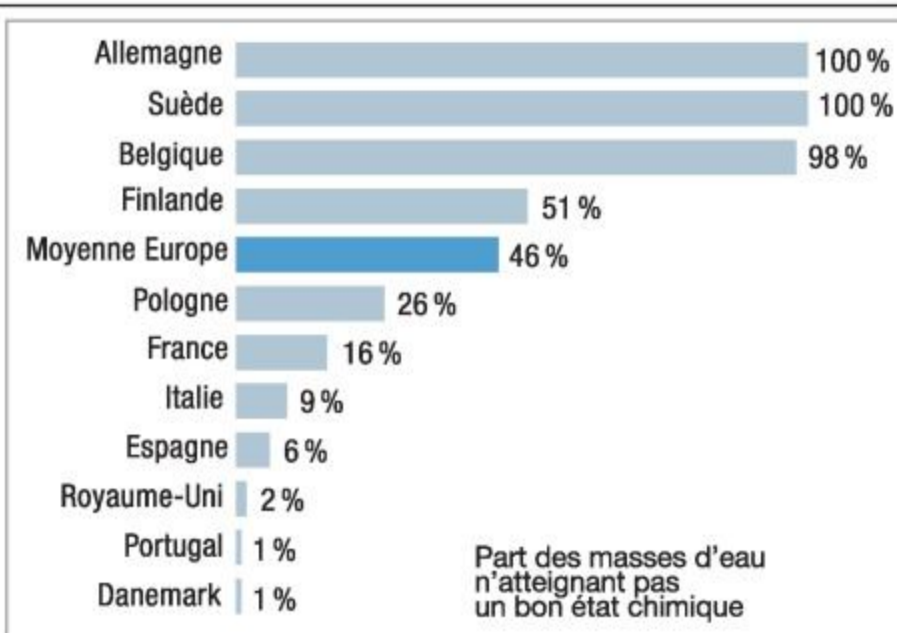
C'est le nombre d'aménagements qui, entre 2010 et 2015, ont été modifiés dans le bassin du Rhône pour permettre aux poissons de passer à nouveau. Utilisés pour produire de l'électricité, limiter les inondations ou stocker de l'eau, ils constituaient en effet autant d'obstacles pour la faune.

G. CIRADE - B. BELLANGER

SOURCE : AGENCE EUROPÉENNE POUR L'ENVIRONNEMENT, 2018

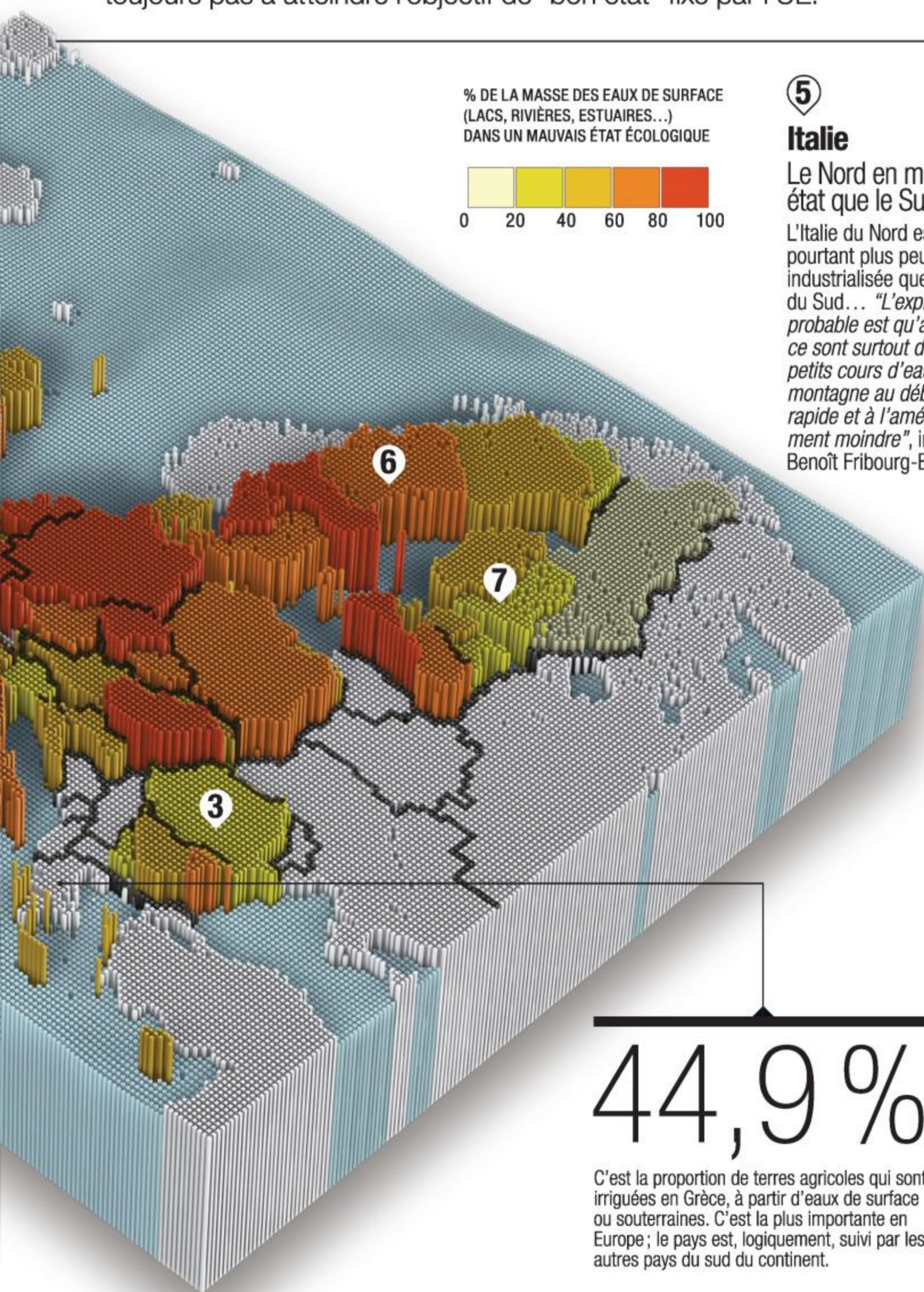
46% des masses d'eau subissent une pollution chimique

L'Agence européenne pour l'environnement s'est aussi penchée sur le statut chimique des masses d'eau en Europe (41 substances polluantes prises en compte). Seules 38 % atteignent un statut chimique satisfaisant, avec toujours une forte hétérogénéité entre États.

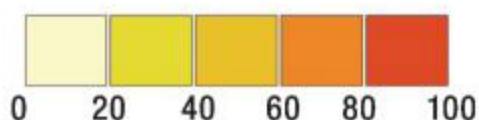


Au début de l'été, l'Agence européenne pour l'environnement a publié son rapport sur l'état des eaux de surface européennes. Malgré les progrès réalisés au cours des dernières décennies, la grande majorité de ces masses d'eau ne parvient toujours pas à atteindre l'objectif de "bon état" fixé par l'UE.

PAR CORALIE HANCOK



% DE LA MASSE DES EAUX DE SURFACE (LACS, RIVIÈRES, ESTUAIRES...) DANS UN MAUVAIS ÉTAT ÉCOLOGIQUE



5

Italie

Le Nord en meilleur état que le Sud

L'Italie du Nord est pourtant plus peuplée et industrialisée que celle du Sud... *"L'explication probable est qu'au nord, ce sont surtout des petits cours d'eau de montagne au débit rapide et à l'aménagement moindre"*, indique Benoît Fribourg-Blanc.

6

Suède

Ses lacs victimes de la pollution

Ce pays scandinave totalise à lui seul plus de 40% de tous les lacs européens. Mais ces lacs ne sont pas en bonne santé, en particulier en raison de la pollution au mercure. *"Cela est plus dû à la géochimie des sols, qui contiennent naturellement du mercure, qu'à l'activité humaine"*, remarque cependant Benoît Fribourg-Blanc.

7

Finlande

Pas forcément mieux que son voisin

Tout comme la Suède, la Finlande présente un gradient nord-sud qui correspond à la densité de population : celle-ci étant moindre au nord, les eaux de surface y sont moins aménagées et de meilleure qualité que dans le Sud. Néanmoins, souligne Benoît Fribourg-Blanc, *"si la Finlande semble être meilleure élève que la Suède, cela s'explique en partie par une question de méthodologie : la Suède a extrapolé à tout le pays les résultats constatés sur le mercure dans les masses d'eau suivies"*.

44,9%

C'est la proportion de terres agricoles qui sont irriguées en Grèce, à partir d'eaux de surface ou souterraines. C'est la plus importante en Europe ; le pays est, logiquement, suivi par les autres pays du sud du continent.

Nous ne dormons pas moins qu'avant – au contraire !

Ces dernières années, les Français ont perdu dix, vingt ou trente minutes de sommeil. “On dort de moins en moins.” “À cause des écrans, l'espèce humaine n'a jamais aussi mal dormi.” Autant d'affirmations qui, régulièrement, font la une des journaux. En France, mais aussi à l'étranger : “Crise du sommeil”, “Épidémie de manque de sommeil”...

Même les articles scientifiques ont recours à ces termes. Pourtant, si on y regarde de plus près, force est de constater que cette si médiatique crise du sommeil... n'existe pas. Que les études scientifiques rigoureuses manquent pour conclure à une diminution effective du temps de sommeil. Ou que certaines d'entre elles

révèlent au contraire... une augmentation !

La plus récente, publiée l'an dernier, a été menée sur 181 335 Américains de plus de 15 ans entre 2003 et 2016. Sur cette période, ces personnes ont gagné 1,4 minute de sommeil par nuit et par an les jours de la semaine (soit 18 minutes par nuit en 13 ans) et 0,83 minute par an les jours de week-end.

UN PROBLÈME DE MÉTHODE

Une exception ? Pas vraiment. En 2012, l'équipe de Nathaniel Marshall (université de Sydney, Australie) a analysé la littérature scientifique publiée sur ce sujet. Sur douze études menées dans une quinzaine de pays entre 1960 et 2000, le sommeil avait effectivement diminué dans six pays... mais augmenté dans sept autres, dont la France ! Trois ans plus tard, le chercheur mettait à jour son analyse en intégrant cinq



études supplémentaires et obtenait des résultats similaires. Bref, pas de quoi conclure à une disparition mondialisée du sommeil !

Méthode différente mais même résultat chez Shawn Youngstedt, chercheur à l'université d'Arizona (États-Unis). Lui et son équipe ont recherché des études dans lesquelles le sommeil était enregistré de façon objective, soit en laboratoire avec un polysomnographe – une machine qui mesure toutes les constantes physiologiques (rythme cardiaque,

mouvement musculaire...) du dormeur –, soit à la maison à l'aide d'un simple bracelet intelligent. Certes beaucoup moins nombreuses (les 168 études recensées ne totalisaient que 6 052 individus), ces données ont l'avantage d'être beaucoup plus fiables que celles utilisées dans la vaste majorité des études menées sur le sommeil, où l'on demande aux participants soit de répondre à un questionnaire sur leurs heures de lever et de coucher et la durée moyenne de leur sommeil (avec le

GASTON GONZALEZ/ARTISTIQUE - DR



ROGER EKIRCH
Historien à l'université Virginia Tech

D'un point de vue historique, il y a toutes les raisons de penser que notre sommeil n'a jamais été aussi bon

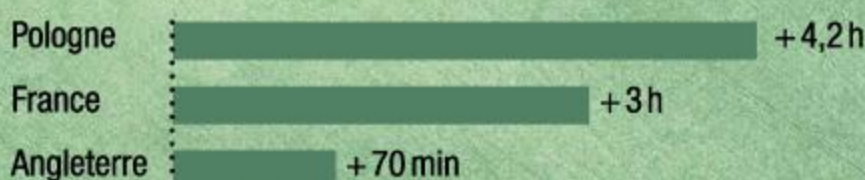
“Crise du sommeil”, “épidémie” : l’idée semble acquise que nous aurions perdu des heures de sommeil. Au risque de développer diabète et maladies cardiaques. Faux, corrigent des chercheurs qui ont analysé la littérature scientifique : une suite d’études contradictoires, sans méthodologie... et parfois même financées par les fabricants de somnifères !

PAR CORALIE HANCOK

Dans certains pays, la durée du sommeil hebdomadaire a bien diminué par rapport aux années 1960...



... mais elle a augmenté ailleurs, comme en France...



... tandis que les études pour un même pays sont parfois contradictoires, par exemple aux États-Unis



Sources : *Sleep Epidemiology*, 2015 ; *Sleep Medicine Reviews*, 2012

en Bolivie. Résultat : un temps moyen de sommeil nocturne compris entre 5,7 et 7,1 heures... soit, finalement, moins que les 7 h 47 de sommeil relevées par l’Insee en France en 2010 ! Et s’ils se lèvent en général très tôt, au lever du soleil, voire avant, l’absence de lumière artificielle ne les oblige pas à se coucher dès la nuit tombée puisqu’ils s’endorment, en moyenne, 3,3 heures après le coucher du soleil.

QUELS ANCÊTRES ?

Une structure de sommeil que semblent avoir partagée les Français des XVIII^e et XIX^e siècles. Guillaume Garnier, historien à l’université de Poitiers et auteur d’un ouvrage sur l’histoire du sommeil, a étudié les témoignages concernant des affaires nocturnes enregistrées dans les archives judiciaires de sa ville. *“Il en ressort que les habitants commençaient à aller se coucher autour de 22 heures, et se levaient ensuite en général très tôt, vers 5 heures, très rarement après 6 heures. À cette époque, les Français, ou du moins les habitants de villes d’une taille comparable à celle de Poitiers, dormaient donc environ 7 h par nuit”*, détaille-t-il. →

degré de précision que l’on imagine !), soit de tenir un journal de bord de leurs activités quotidiennes avec un pas de temps de 10 minutes.

Shawn Youngstedt a ensuite calculé si le temps de sommeil était différent en fonction de l’année pendant laquelle avait été réalisée chaque étude. Résultat : aucune différence ! Autrement dit, dans les études les plus anciennes (1960-1989), le temps de sommeil n’était pas plus long que dans les études les plus récentes (1990-2013).

“Quand les revues de littérature réalisées à la fois sur les données subjectives et objectives concluent toutes les deux la même chose, il y a vraiment de quoi être sceptique sur ce prétendu déclin du sommeil”, termine Shawn Youngstedt.

Enfin, le dernier coup de massue vient des anthropologues et des historiens. Le problème, avec les données sur le sommeil utilisées par les scientifiques, c’est qu’elles remontent seulement à cinquante ans, un siècle au mieux. Soit bien après l’industriali-

sation de nos sociétés et l’apparition de la lumière artificielle, censée avoir profondément modifié nos comportements de sommeil. D’où l’idée de se pencher sur les données historiques ou sur les sociétés traditionnelles qui vivent encore sans électricité.

En 2015, l’équipe de Jerome Siegel (université de Californie) a enregistré le sommeil d’individus appartenant à trois ethnies différentes vivant sans électricité : les Hadza en Tanzanie, les San en Namibie et les Tsimane

→ Mais alors, d'où vient cette idée si couramment répandue que nos ancêtres dormaient plus et mieux que nous? Et qu'au fil des décennies, on dormirait de moins en moins? Plusieurs choses peuvent l'expliquer. *"D'abord, les données qui pointent une diminution du sommeil sont souvent issues de sondages dont la méthodologie est discutable : ils ne sont pas représentatifs de la population, ne reprennent pas la même*

les enfants, cette fois), 17 apportaient les preuves d'une tendance, dont seulement 6 d'un déclin. Et les 34 autres affirmaient l'existence d'un déclin du sommeil sans l'avoir montré eux-mêmes, en s'appuyant uniquement sur des articles antérieurs (3 articles représentaient à eux seuls 85 % des citations). Autrement dit, la source originale était secondaire, voire tertiaire. Pis : certains affirmaient que le sommeil

étudié le sommeil dans les textes littéraires et normatifs, confirme : "Les maladies infectieuses, la peur des démons, très présente dans l'Europe chrétienne préindustrielle, la peur du feu, en particulier dans les villes, et le froid en hiver – l'Europe et l'Amérique du Nord ont connu une petite période glaciaire entre les XVI^e et XVIII^e siècles – perturbaient très probablement le sommeil de nos ancêtres." Sans compter,

partie du problème vient des fabricants de somnifères, souligne Shawn Youngstedt. Tous ces laboratoires financent des études qui montrent les effets délétères du manque de sommeil sur l'organisme. Et espèrent ainsi augmenter leurs ventes." De fait, toute la publicité réalisée autour de ces études financées par les laboratoires qui associent mauvaises nuits et apparition de pathologies finissent par fausser l'idée que nous nous faisons de nos propres nuits.

Le déficit de sommeil touche en fait les enfants

Après avoir constaté en 2011 l'absence de fiabilité des données sur le sommeil des enfants, Lisa Matricciani (université d'Australie du Sud) a publié en 2012 les résultats d'une analyse réalisée à partir de données recueillies entre 1905 et 2008 sur 690 747 enfants de 20 pays différents. Résultat : elle constate bien, cette fois, un déclin du sommeil de 0,75 min par nuit et par an, soit au total plus de 1 h 15 de sommeil perdu par les enfants en un siècle. C'est certes beaucoup, mais moins que les 1,5 à 2 min par an fréquemment rapportées. Quant à savoir si les smartphones ont eu un impact sur le sommeil des adolescents, *"c'est une question qui est encore ouverte. L'introduction des smartphones date de moins de dix ans et nous manquons encore de recul et de données de bonne qualité pour conclure dans un sens ou dans l'autre"*, souligne Nathaniel Marshall (université de Sydney).

UN CERCLE VICIEUX

Nathaniel Marshall dénonce même un cercle vicieux : *"Beaucoup de patients insomniaques s'inquiètent du danger du manque de sommeil sur leur santé... ce qui a pour effet d'exacerber encore plus leur insomnie."* Dire aux insomniaques que ne pas dormir assez a de telles conséquences est donc totalement contre-productif. Même si c'est vrai. Tous les scientifiques que nous avons interrogés sont d'accord sur un point : la bonne santé dépend d'une alimentation équilibrée, de l'exercice physique et d'un bon sommeil. Mais c'est une erreur de penser que toutes les maladies modernes, du diabète à l'obésité, en passant par les maladies cardiaques, sont dues au déclin du sommeil, puisque ce déclin est une chimère. Le coupable est à chercher ailleurs. □

méthodologie d'une année sur l'autre...", avance Nathaniel Marshall.

Ensuite, même les publications scientifiques ne sont pas exemptes d'erreurs de méthode, comme l'a montré la revue de littérature publiée par l'équipe de Lisa Matricciani (université d'Australie du Sud) en 2011 : sur 51 articles scientifiques concernant la durée du sommeil (chez

avait décliné en citant des études dont ce n'était pas la conclusion!

Et puis, avance Nathaniel Marshall, *"il y a probablement une grande part d'idéalisation et de romantisme dans l'idée que l'on se fait du sommeil de nos ancêtres, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif"*. Roger Ekirch, historien à l'université Virginia Tech (États-Unis) qui a

ajoute Guillaume Garnier, *"les puces de lit très communes aux XVIII^e et XIX^e siècles"*. Bref, résume Roger Ekirch, *"d'un point de vue historique, il y a toutes les raisons de penser que notre sommeil n'a jamais été aussi bon"*.

Mais pourquoi sommes-nous si nombreux à croire que le grand déclin de nos nuits menacerait déjà notre santé? *"Une*

On peut toujours compter sur la nature



OU sur L72, un médicament homéopathique aux 10 substances actives qui agit sur les troubles mineurs du sommeil.

Difficultés d'endormissement, sommeil agité, réveils nocturnes ou précoces... L72 de Lehning est un médicament homéopathique traditionnellement utilisé dans le traitement des troubles mineurs du sommeil.

Nouvelle composition.

À partir de 30 mois

Chez l'enfant, un trouble du sommeil nécessite une consultation médicale

Contient de l'alcool

Sans accoutumance

Disponible sans ordonnance en pharmacie



FABRIQUÉ EN FRANCE


LEHNING
LABORATOIRES



Lire attentivement la notice. Si les symptômes persistent, consultez votre médecin. Demandez conseil à votre pharmacien.
Laboratoires Lehning 3, rue du Petit Marais 57640 Sainte-Barbe. VISA N° 18/03/6 020 203 1/GP/002 - Ref.2018-PI-084

Le jour où le pont Morandi s'est effondré à Gênes

1 | Un pont à l'architecture très particulière

Un tablier en porte-à-faux, une seule paire de haubans de chaque côté des pylônes, des câbles enrobés de béton précontraint, etc. Cet ouvrage, conçu en 1963 par Riccardo Morandi, est le fruit de choix architecturaux radicaux. Lesquels n'ont été repris pour aucun autre pont dans le monde, hormis les deux autres créations de l'ingénieur italien au Venezuela et en Libye. Harmonieux, certes, mais peu résilients : les ouvrages actuels privilégient, eux, l'acier et la redondance des haubans.

2 | Une possible corrosion du béton précontraint gainant les câbles

Le béton est un milieu très protecteur pour l'acier des câbles. Mais avec le temps, ce béton ancienne génération s'est peut-être fissuré, laissant passer l'atmosphère corrosive de Gênes (sel marin, chaleur, pollution...). Au point de provoquer la rupture d'un des câbles sous haute tension, entraînant les autres structures, dont un pilier de 90 m de hauteur. Le viaduc de Millau a, lui, été conçu pour résister à la perte de trois haubans successifs.

3 | Les mauvaises conditions météo comme élément déclencheur ?

Un orage sévissait au moment du drame. Très vite, des témoignages ont fait état d'un impact de foudre qui aurait précédé l'effondrement. Y aurait-il un lien de cause à effet ? Les experts restent très perplexes, d'autant qu'un tel ouvrage est presque toujours équipé de paratonnerre. L'intensité des pluies semble aussi hors de cause. En revanche, le vent violent aurait pu porter le coup de grâce en sollicitant des structures corrodées jusqu'à leur limite.

Le 14 août, à 11 h40, la partie centrale du viaduc autoroutier du Polcevera, dit pont Morandi, s'effondre, faisant 43 morts et 14 blessés. L'enquête est toujours en cours pour expliquer la catastrophe, mais des indices émergent... Décryptage avec le spécialiste du béton Jean-Michel Torrenti et l'architecte du viaduc de Millau, Michel Virlogeux.

PAR VINCENT NOUYRIGAT



4 | Un problème de maintenance lié à ce type de structure ?

Les normes européennes actuelles (Eurocodes) prévoient une durée de vie d'un siècle pour ce type d'ouvrage... à condition d'en assurer la maintenance attentive. Le pont Morandi semble avoir fait l'objet de travaux continus. Seulement, la tâche des ingénieurs est plus difficile ici que sur n'importe quel autre pont : le béton entourant les haubans d'acier masque en effet leur éventuelle corrosion et rend toute réparation très compliquée.

5 | Dans le monde, seize grands ponts se sont effondrés depuis début 2017

Aussi sidérant soit-il, l'effondrement d'un grand pont n'est pas si exceptionnel. Défauts de construction, usure du temps, surcharge, intempéries ou encore tremblements de terre sont en cause. L'Italie a ainsi vécu l'écroulement de deux grands viaducs récemment, dont l'un était flambant neuf. Au total, dans le monde, on recense pas moins de seize catastrophes de ce genre depuis début 2017!

GETTY IMAGES/AFP

L'étrange affaire... de la bilharziose en Corse

L'affaire commence en mars 2014, lorsqu'une fillette de 4 ans est admise à l'hôpital universitaire de Toulouse. Elle se plaint de maux de ventre et ses urines sont teintées de sang. Elle souffre d'une bilharziose, une maladie que l'on contracte en se baignant dans des cours d'eau tropicaux, essentiellement en Afrique, en Inde et en Amérique du Sud. Or, la petite ne s'y est jamais rendue.

À la même période, le département de médecine tropicale de l'hôpital de Düsseldorf, en Allemagne, signale un cas de bilharziose chez un garçon de 10 ans. Lui non plus n'a jamais séjourné dans les pays où sévit la maladie. Seul point commun entre ces deux enfants : en août 2013, ils se sont baignés dans les piscines naturelles de la rivière du Cavu, à Sainte-Lucie-de-Porto-Vecchio, en Corse.

Le Cavu pourrait-il abriter le parasite responsable de la maladie, le schistosome ? Quand les médecins posent la question à Jérôme

Boissier, dont le laboratoire (IHPE, Interactions Hôtes-Pathogènes-Environnements, à Perpignan) est référent pour la bilharziose auprès de l'OMS, celui-ci croit à une plaisanterie. Un parasite tropical en Corse ?

Cela semble pourtant la seule explication. L'été, le Cavu atteint les 30°C. Et dans cette rivière vit le bulin (*Bulinus truncatus*), un élément essentiel du cycle



^ C'est dans le Cavu que vit le bulin, un mollusque dans lequel la larve du parasite se développe avant de trouver un hôte.

du schistosome. C'est dans ce mollusque ressemblant à un petit bigorneau que la larve du parasite se développe, avant d'en sortir pour infecter sa cible : un mammifère présent dans l'eau alentour. Elle traverse sa peau, et, à l'intérieur du corps de son hôte, se transforme en vers, qui s'accouplent pour produire

des œufs. Si l'hôte est humain, les œufs migrent vers les vaisseaux sanguins autour de la vessie, où ils provoquent parfois saignements et maux de ventre. Évacués par les urines, ils peuvent alors infecter un nouveau bulin.

À l'époque, tout porte à croire que l'hiver en viendra à bout : la température de la rivière baisse alors à 7°C, bien loin des températures

africaines. Mais l'affaire rebondit lorsque, deux ans plus tard, d'autres cas de bilharziose sont signalés chez des personnes s'étant baignées dans la rivière du Cavu, à l'été 2015. *"L'hypothèse que le parasite tropical ait été capable de survivre à un hiver corse était très surprenante"*, avoue Jérôme Boissier.



Rappel des faits

Depuis 2013, environ 125 personnes ont contracté la bilharziose après s'être baignées dans la rivière Cavu, en Corse. Cette maladie cause 200 000 décès par an dans le monde.

Le parasite a-t-il passé l'hiver au chaud, dans un hôte qui, l'été suivant, a de nouveau uriné dans la rivière ? Vaches, moutons, chèvres, rongeurs... des milliers de mammifères vivant sur le site sont testés : aucun ne semble porteur du schistosome. Les campagnes de dépistage dans la population, elles, permettront d'identifier environ 125 personnes infectées, dont les deux tiers ne présentent aucun symptôme. Elles ont été soignées. Est-ce la source de la réinfection ? Pas sûr...

UNE HYBRIDATION QUI REND LE PARASITE RÉSISTANT

Car dans le laboratoire de Perpignan, des bulins infectés ont été soumis à des conditions hivernales auxquelles, contre toute attente, le parasite a survécu !

En août dernier, après séquençage du génome du schistosome, Ève Toulza et Julien Kincaid-Smith, de l'IHPE, ont compris pourquoi: "Il s'agit d'un hybride de deux espèces entre la souche humaine classique, *Schistosoma haematobium* et la souche bovine, *Schistosoma bovis*, explique Ève Toulza. Or, les hybridations, fréquentes chez les schistosomes, peuvent leur permettre de survivre dans des environnements plus variés."

L'affaire est donc loin d'être terminée. "Nous sommes partis pour une surveillance continue", admet Josselin Vincent de l'Agence régionale de santé de Corse. Personne ne semble avoir été infecté en 2017 en Corse, mais le bulin habite d'autres rivières du pourtour méditerranéen, en Espagne, au Portugal, dans le sud de la France, en Italie, en Grèce. L'augmentation des températures et l'intensification des déplacements (essentiellement touristiques, mais aussi migratoires) constituent un cocktail idéal pour l'émergence de la bilharziose dans le sud de l'Europe. **A.D.**

#C'ESTDIT!

#C'ESTDIT!



Recyclage du plastique : une vraie fausse bonne décision

Le gouvernement a annoncé cet été, par la voix de sa secrétaire d'État au ministère de la Transition écologique et solidaire, Brune Poirson, la mise en place d'un bonus-malus sur les plastiques pour inciter les industriels à augmenter leur recyclage en France. La mesure prendra effet "progressivement à partir de 2019", sans qu'un calendrier précis n'ait été communiqué. Rappelons que l'objectif du gouvernement est d'atteindre 100% de recyclage en 2025.

À première vue, la décision semble marquée au coin du bon sens. L'Hexagone est en queue du peloton européen, avec environ 20% de plastique recyclé, loin derrière la Norvège ou la Finlande, qui dépassent les 40%. Pourtant, la priorité affichée – qui "n'est pas l'interdiction mais le recyclage" – n'est certainement pas celle qui a le plus d'avenir. "Environ 50% des

emballages sont soit non recyclables, soit objectivement très difficiles à recycler, rappelle Laura Chatel, de l'ONG Zero Waste France, comme le montrent les taux de recyclage modestes des pays leaders européens, en dépit de leurs taux de collecte très élevés."

Le gouvernement élude donc un obstacle majeur: le plastique présente en effet une diversité d'usages, de résines et d'additifs qui sont un véritable casse-tête. Or, comme le déplore Laura Chatel, "cette diversité n'est très souvent motivée que par le marketing, autrement dit le besoin de se distinguer du concurrent". Et elle pourrait, elle, être facilement réduite par voie réglementaire. Au vu de quoi l'objectif présidentiel ressemble plus à un cul-de-sac (plastique). Alors qu'à Bruxelles, la réduction des déchets à la source est une idée de plus en plus prisée. **Y.S.**

Les clés pour comprendre les infections nosocomiales

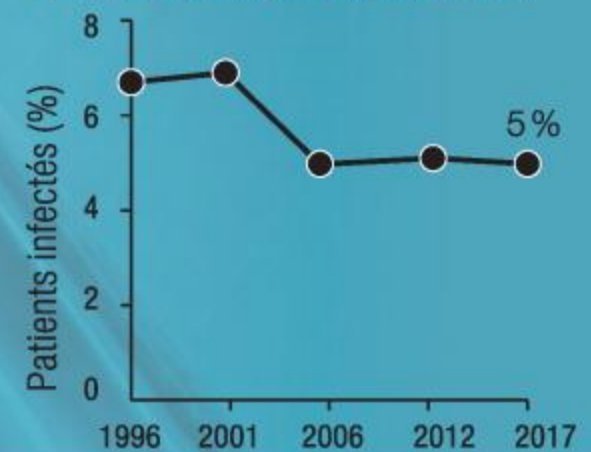
Entrer à l'hôpital et en ressortir plus malade qu'on ne l'était ? Chaque année, en France, des milliers de patients contractent ce que l'on appelle une infection nosocomiale. Au début de l'été, l'agence Santé publique France a publié un nouvel état des lieux. Et il est alarmant.

PAR CORALIE HANCOK



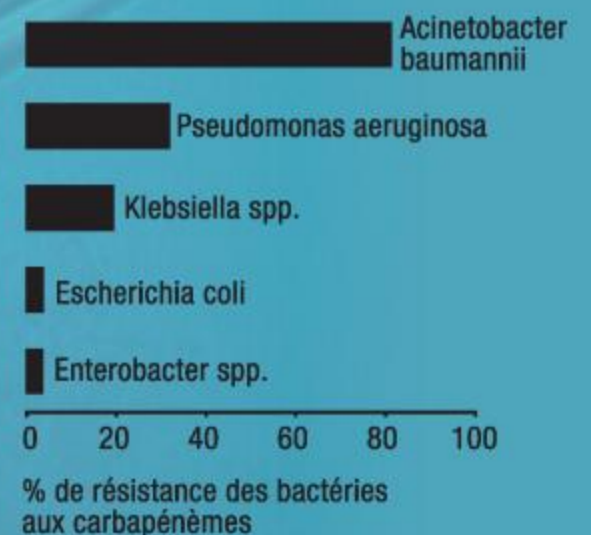
1 Le nombre d'infections se stabilise en France...

Un jour donné en France, un patient hospitalisé sur 20 est porteur d'au moins une IN, selon l'INVS. La proportion évolue peu depuis 1996.



3 Les résistances varient d'une bactérie à l'autre

En raison d'un usage parfois immodéré ou inadéquat des antibiotiques, certaines bactéries ont développé des résistances. Y compris à la classe des carbapénèmes, considérés en principe comme le traitement de dernier recours.



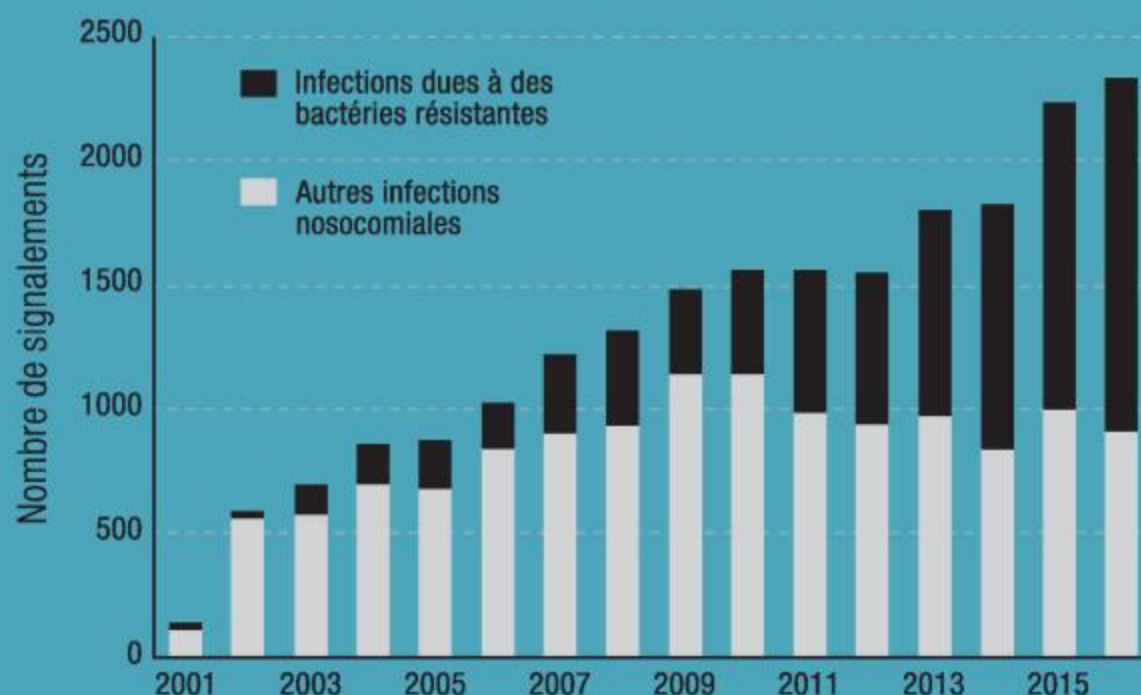
SHUTTERSTOCK - M.KONTEBTE-B.BELLANGER

Porter des gants et des blouses, se laver les mains, respecter des conditions d'asepsie très strictes au bloc opératoire, utiliser du matériel à usage unique ou stérilisé, se faire vacciner... Pour éviter l'apparition d'infections noso-

comiales (IN), la liste des recommandations à l'attention du personnel soignant est longue. Pourtant, les IN n'ont pas été éradiquées. Si la proportion de patients infectés stagne ces dernières années en France, on dénombre toutefois 750 000 IN tous les ans et celles-ci seraient respon-

sables de 4 000 décès annuels. Et la situation pourrait encore s'aggraver. En cause : les bactéries multirésistantes, qui feraient chaque année en Europe 25 000 morts. "La résistance aux antibiotiques est devenue un enjeu de santé mondial. Tous les pays sont concernés et dans certains,

cela semble déjà hors de contrôle", alerte Anne Berger-Carbonne, responsable de l'unité Infections associées aux soins et résistance aux antibiotiques à Santé publique France. Un constat qu'a également fait l'OMS, appelant les laboratoires à chercher de nouveaux antibiotiques.

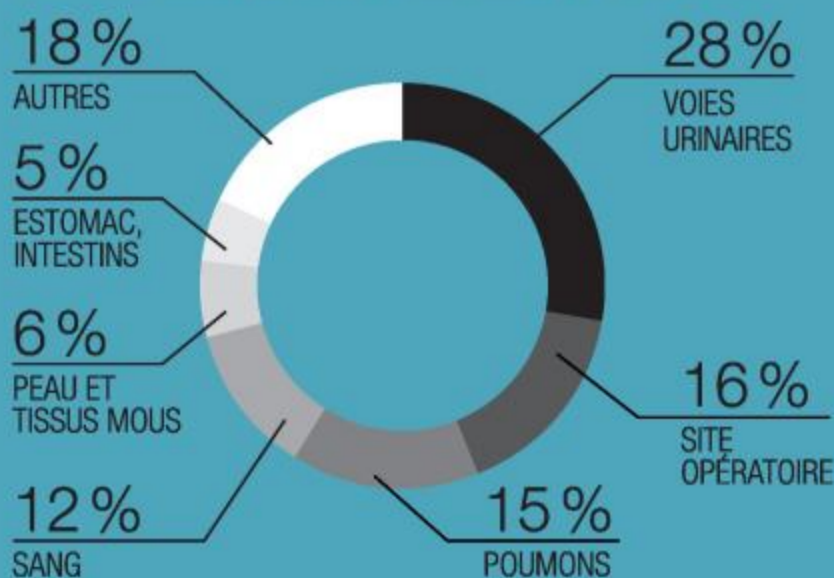


2 ... mais les résistances aux antibiotiques se multiplient

Un dispositif permet aux hôpitaux de signaler les épidémies ou les cas, graves ou non, d'infections nosocomiales. Parmi ces signalements, la part des infections dues à des bactéries ayant développé une résistance aux antibiotiques a augmenté de façon inquiétante. Alors que seulement 2,5 % des signalements en 2001 concernaient des bactéries multirésistantes ou hautement résistantes, cette proportion est montée à 66 % en 2016.

4 Les voies urinaires sont les plus fréquemment touchées

La plupart des bactéries impliquées sont présentes naturellement dans le corps. Elles provoquent une infection lorsqu'elles s'installent à un endroit où elles ne devraient pas être. Elles pénètrent via la zone opérée (site opératoire) ou via des dispositifs invasifs (cathéter, sonde urinaire, assistance respiratoire).



5 La France se situe dans la moyenne européenne

La résistance des bactéries aux antibiotiques est devenu un problème mondial. Néanmoins, certains pays sont plus touchés que d'autres. En Europe, ce sont ceux du Sud qui sont les plus impactés.

Proportion des souches de staphylocoque doré résistant à la méticilline



SOURCES : INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE - CENTRE EUROPÉEN DE PREVENTION ET DE CONTRÔLE DES MALADIES

Automobile : l'avenir appartient aux hybrides

Et si, en commercialisant dès 1997 la première voiture hybride grand public, la Prius, Toyota avait eu vingt ans d'avance sur son époque ? Et si cette technologie, qui allie propulsion électrique et thermique, s'avérait, à moyen terme, la solution la plus efficace pour faire baisser les émissions des gaz à effet de serre des véhicules légers ?

La partie n'était pourtant pas gagnée d'avance. Inventée au début du XX^e siècle, à peine plus tard que ses homologues électrique et thermique, la technologie hybride offre sur le papier deux avantages : elle réduit les pollutions en réservant le moteur thermique aux plages de fonctionnement à haut régime, et récupère

une partie de l'énergie en phase de décélération, comme les voitures 100 % électriques. Mais l'abondance du pétrole et les progrès fulgurants de la motorisation thermique obligent, la solution est rapidement tombée aux oubliettes. C'est seulement au tournant du millénaire, dans un contexte de lutte contre la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de serre, que les constructeurs remettent à l'honneur les technologies tout ou partie électriques.

LES MIRAGES DU TOUT ÉLECTRIQUE

Pendant longtemps, Toyota a fait cavalier seul, ou presque en matière d'hybride. Et bien que d'autres modèles aient été commercialisés depuis, les annonces semblaient toujours davantage promettre un bel avenir aux véhicules tout électriques.



Jusqu'à ce que, début juillet, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) mette les pieds dans le plat. En collaboration avec l'Institut français du pétrole-Énergie

nouvelle (Ifpen), elle publie un rapport sobrement baptisé *Étude économique, énergétique et environnementale pour les technologies du transport routier français (E4T)* : une analyse des grandes tendances de l'électrification des véhicules, de son efficacité et de sa capacité à réduire les impacts environnementaux du transport.

Sa première conclusion n'est guère étonnante : *"En 2030, la motorisation conventionnelle non hybride sera fortement*

35 %

des émissions de gaz à effet de serre en France, en 2016, provenaient des transports... dont deux tiers étaient émis par les seules voitures particulières.

66 g

de CO₂/km : c'est le seuil max d'émissions fixé par l'Europe en 2030 sur les véhicules neufs. Sachant que le parc automobile neuf actuel en émet en moyenne près du double avec 111 g/km.

1 %

des véhicules neufs vendus en 2018 dans le monde sont électriques ou hybrides. Une part qui devrait atteindre 50 % d'ici à 2050, selon le cabinet de conseil Boston Consulting Group.

Quelle sera la voiture de 2030? Alors que les constructeurs se focalisent sur le tout électrique, un rapport de l'Agence de l'environnement pointe le mauvais bilan carbone de leurs batteries... L'alternative?

L'hybride rechargeable: une double motorisation moins polluante à produire, qui permet de faire vraiment baisser les émissions de CO₂. Explications.

PAR HUGO LEROUX

LES ATOUTS DE L'HYBRIDE RECHARGEABLE

- > **Il est moins polluant à produire** Sa batterie plus petite est moins énergivore à fabriquer.
- > **Il est plus polyvalent** Son moteur électrique est adapté à la ville, et sa propulsion thermique optimale sur route.



UNE BATTERIE RÉDUITE

La batterie lithium-ion, plus réduite que celle de sa cousine tout électrique, suffit pour parcourir en ville jusqu'à 30 à 40 km réels en mode électrique, soit un usage urbain classique.

UNE PRISE ÉLECTRIQUE

À l'inverse des *full hybrids* qui se rechargent automatiquement en phases de décélération, l'hybride rechargeable nécessite une recharge "manuelle" sur une borne adaptée.

DOUBLE MOTORISATION

À grande vitesse ou pour les plus longs trajets, le moteur essence (ou plus rarement diesel) prend le relais du moteur électrique.

concurrentée par les technologies électrifiées, que ce soit du point de vue du coût total de possession ou de l'impact environnemental", écrivent les experts.

Sa seconde conclusion surprend davantage: à cet horizon 2030, l'hybride

rechargeable – c'est-à-dire avec prise électrique – pourrait fournir une solution plus pertinente que la voiture tout électrique pour abaisser les émissions de CO₂ des véhicules légers!

Car le gros handicap de la voiture électrique ré-

side dans la fabrication très énergivore de sa batterie: une étape qui représente à elle seule jusqu'à 40 % des émissions totales de gaz à effet de serre du véhicule sur toute sa durée de vie!

De fait, pour avoir une juste appréciation

de l'impact environnemental d'un véhicule, il faut comptabiliser les émissions qu'il produit lorsqu'il roule (en incluant bien sûr les émissions liées à la production d'électricité, très variables selon qu'il s'agit d'une vieille centrale à charbon

ou d'une éolienne), mais aussi prendre en compte celles qui ont été émises pendant sa production.

UNE "DETTE ÉCOLOGIQUE"

En phase d'utilisation, chaque voiture électrique doit donc rembourser cette "dette écologique" initiale: en France, une citadine tout électrique telle que la Renault Zoé ancienne version devra ainsi parcourir plus de 50 000 km avant de devenir plus respectueuse du climat qu'une voiture thermique de taille comparable (étude Ademe datée de 2013).

À ce compteur CO₂, il faut encore ajouter d'autres impacts plus difficiles à quantifier, mais loin d'être négligeables, liés à l'utilisation de métaux rares: ils sont en moyenne deux fois plus

abondants à l'intérieur d'un véhicule électrique que thermique. L'extraction et la transformation du lithium et du cobalt utilisés dans la batterie, ou des terres rares dans le moteur, ainsi que l'électronique se font au prix d'une pollution environnementale dans les pays producteurs.

Or, c'est ici que l'hybride rechargeable abat un de ses atouts: il dispose en effet d'une batterie beaucoup plus réduite... et part donc avec une dette écologique moins lourde.

À titre d'exemple, une Volkswagen Golf GTE dispose d'une batterie de 8,7 kWh, soit 5 fois moins importante qu'une citadine électrique comme la Renault Zoé nouvelle formule. "L'hybride rechargeable suffit pour les trajets



MAXIME PASQUIER
Chef du projet Mobilités à l'Ademe

Plutôt qu'accumuler des kWh de batteries très polluantes à produire, mieux vaut un hybride avec un moteur thermique dont la production pollue peu

urbains (jusqu'à 40-50 km) en mode électrique, tout en donnant à l'utilisateur l'assurance du carburant en cas de problème", explique Marie Chéron, responsable Mobilité à la Fondation pour la Nature et l'Homme (FNH, ex-fondation Nicolas Hulot). "Ce que montre notre étude, c'est qu'il vaut mieux avoir un moteur thermique embarqué qui ne sert à rien, mais dont la fabrication est relativement peu polluante, plutôt que des kWh de batterie excédentaires, qui restent inutilisés la plupart du temps, et qui sont, eux, très impactants", résume Maxime Pasquier, chef de projet Mobilités à l'Ademe.

L'hybride rechargeable pourrait-elle être la nouvelle panacée? Pas encore. Cette technologie présente trois limites qu'il faudra

surmonter d'ici à 2030. Complexe, elle reste en effet l'apanage des berlines ou des SUV – de gros véhicules épinglés par les tests indépendants pour le gouffre qui sépare leur sobriété affichée et leur consommation réelle. Mais de nouveaux modèles, plus compacts et plus vertueux, pourraient bientôt changer la donne, comme la BMW i3 REx, équipée d'un prolongateur d'économie, ou la Toyota Prius Plug-in, qui a remporté les cinq étoiles de l'écotest mené par la puissante Association des automobilistes allemands (Adac).

Deuxième limite, le comportement des conducteurs. "L'étude de l'Ademe et de l'Ifpen prend comme hypothèse un usage très rationnel de l'hybride rechargeable, en mode tout électrique et sur des trajets de 50 km exclusivement... Malheureusement, la performance environnementale de ce type de véhicule est étroitement liée à son utilisation réelle, qui est plus difficile à prévoir", tempère Yoann Le Petit, responsable de la branche Mobilité propre chez Transport et Environnement (T&E), une association fédérant une cinquantaine d'ONG européennes du secteur.

Or, les bons réflexes ne sont pas encore là: une étude menée, entre 2012 et 2016, par l'organisme de recherche hollandais TNO auprès de propriétaires de véhicules

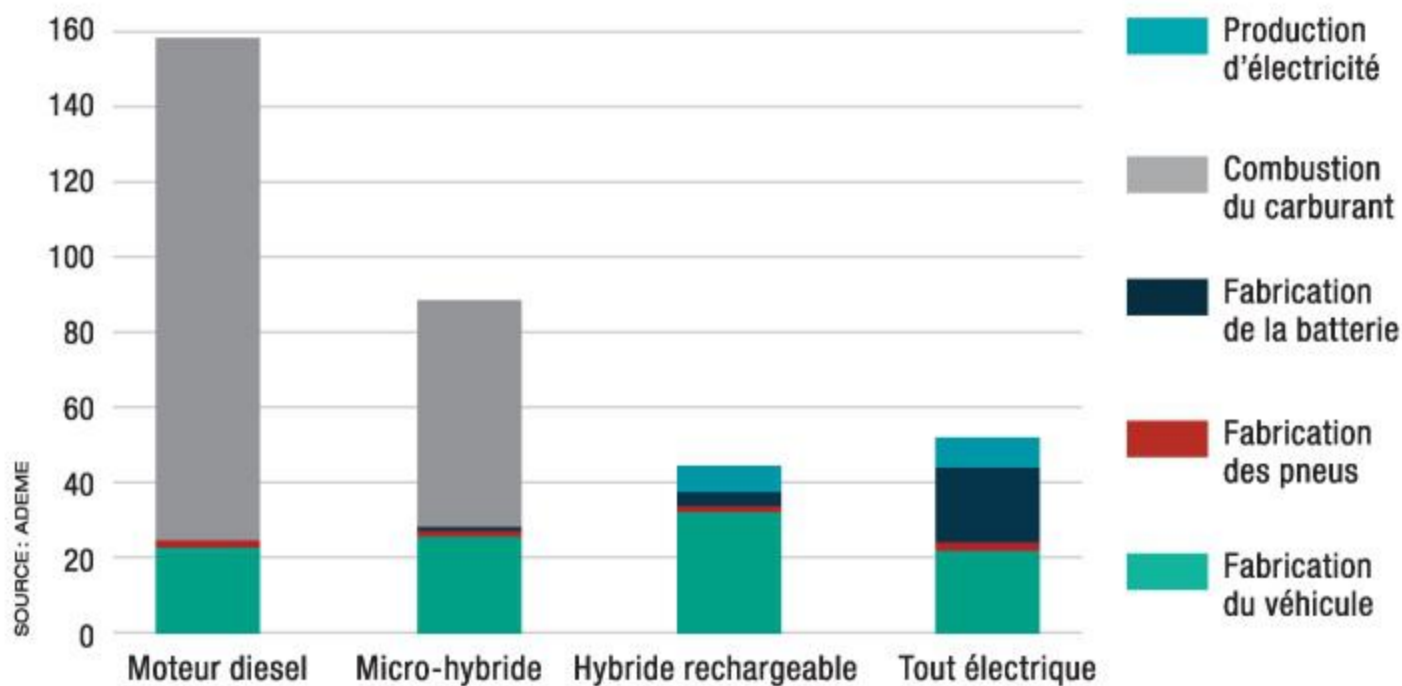
B.BELLANGER

Des bus tout électriques et des camions... au diesel

La question de la motorisation se pose différemment dans le cas des bus, pour lesquels le 100 % électrique semble plus pertinent. "Outre le fait qu'il s'agit d'un mode de transport en commun, le fait de parcourir beaucoup de kilomètres (en moyenne 40 000 km/an) permet d'amortir l'impact CO₂ de la fabrication de la batterie", souligne le rapport de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Pour le transport routier en revanche, la motorisation thermique pure pourrait subsister car la capacité des moteurs diesel à engloutir les kilomètres avec une consommation de carburant modérée offre encore un réel avantage économique par rapport aux autres technologies... À moins que des motorisations adaptées au gaz naturel (GNV) ou à des biocarburants de deuxième génération ne s'avèrent plus intéressantes, ces possibilités n'ayant pas été étudiées par l'Ademe.

DES VOITURES ÉLECTRIQUES PAS SI “VERTES” QUE ÇA!

Pour comparer leur véritable impact environnemental, il faut non seulement tenir compte des émissions des véhicules quand ils roulent, mais aussi de celles émises pendant leur production... Et ça change tout. De fait, la fabrication des batteries des voitures électriques s'avère particulièrement polluante. La preuve ici en usage exclusivement urbain.



Émissions de CO₂ (en g/km) d'un véhicule léger (catégorie A) en usage urbain en 2030

hybrides rechargeables a en effet montré qu'ils ne sont utilisés en mode électrique que... pendant 30% du temps normalement attendu, les utilisateurs oubliant ou négligeant régulièrement d'en recharger la batterie! Ce qui augmente d'autant la consommation de carburant, le moteur thermique tournant même pendant les petits trajets.

CHANGER LES HABITUDES

Enfin, dernière limite pointée par l'Ademe elle-même: l'adoption de l'hybride rechargeable, technologie encore chère du fait de sa complexité, restera conditionnée à une baisse significative des prix d'ici à 2030 – une Prius coûte en effet encore près de 40 000 €,

soit 6 000 € de plus qu'un modèle non rechargeable. Dans le cas contraire, cette technologie pourrait être doublée sur sa droite par une autre, beaucoup plus abordable, le *mild hybrid*, ou micro-hybride.

Ces véhicules en plein essor misent sur l'adjonction d'une petite batterie de 48 volts permettant une économie de carburant non négligeable lors des phases d'accélération en ville... bien que leur bilan environnemental global soit beaucoup moins intéressant que celui de leurs cousines.

En avançant l'hybride rechargeable comme solution de transition à l'horizon 2030, l'étude pointe surtout le danger de la logique actuelle des constructeurs lancés – avec l'assentiment

des consommateurs – dans une course à l'autonomie de l'électrique... ce qui revient à alourdir du même coup le poids écologique de la batterie. Qu'on en juge: la capacité de la Renault Zoé nouvelle formule a quasiment doublé, de 23 à 41 kWh, pour faire passer l'autonomie affichée de 200 à 400 km. Augmentant d'autant l'impact écologique de sa construction... "Si l'on se dirige vers un véhicule électrique construit sur le modèle de la Tesla, avec 600 km d'autonomie et 600 kg de batterie, on risque de se tirer une balle dans le pied d'un point de vue environnemental global. Il serait préférable de renoncer à appliquer au véhicule électrique les habitudes du véhicule thermique, qui

permettait de tout faire", avertit Maxime Pasquier.

Un constat qui implique de véritables changements dans nos habitudes. "Les voitures 100% électriques seraient vraiment vertueuses pour les trajets du quotidien, en complément du développement de services d'autopartage, résume Marie Chéron de la FNH. Pour les plus grandes distances, l'hybride permettrait justement d'effectuer la transition, le temps que des technologies potentiellement plus efficaces, comme l'hydrogène ou les biocarburants de seconde génération, deviennent matures."

Le bilan environnemental invite donc les hybrides à prendre le pouvoir. Reste à savoir si, en pratique, les logiques industrielles et les politiques publiques iront dans ce sens.



Spécial Auto

Comment roulerons-nous demain? Quelles voitures dans dix ans? L'industrie automobile entame une révolution d'une profondeur inédite. S&V y consacre une édition spéciale. En kiosques le 1^{er} octobre, 5,95 €.

Les sites de rencontres transforment les mœurs

En France, plus de 1 célibataire sur 4 a déjà utilisé un site de rencontres (9 % des couples hétéro et 30 % des couples homo formés après 2005 en sont issus). Des rencontres d'un nouveau genre, dont l'impact sur la société est loin d'être négligeable.

... la liberté sexuelle...

Marie Bergström, sociologue à l'Ined, a montré que 31 % des relations nouées via ces sites deviennent sexuelles dans la semaine qui suit la rencontre, contre moins de 20 % pour les couples issus de cercles d'amis

et 8 % de ceux formés sur le lieu de travail. "Ces sites étant déconnectés du cercle social habituel, le risque d'être jugé est réduit, ce qui facilite les pratiques encore parfois stigmatisées", explique la chercheuse.

Ils promeuvent la mixité ethnique...

Plusieurs études ont observé que, en rapprochant des personnes qui n'auraient pas eu l'occasion de se croiser dans la "vraie vie", les sites de rencontres favorisent la mixité ethnique. Une étude américaine a, par exemple, établi que les couples formés en ligne sont 6 à 7 % plus souvent interracialisés. Les couples ne se mélangent en revanche pas plus en fonction de leurs origines sociales, du fait des critères de sélection des utilisateurs, qu'ils soient assumés ou inconscients.

SHUTTERSTOCK - D. OTIS/GETTY IMAGES



En bref



70 %

C'est le pourcentage de navires impliqués dans la pêche illicite qui sont enregistrés dans un paradis fiscal (contre 4,4 % des 258 000 navires respectant les réglementations). Une étude universitaire néerlandaise met ainsi en avant le lien entre paradis fiscaux et destruction de l'environnement.

E.A.

41 000

C'est le nombre de cas de rougeole recensés en Europe sur les six premiers mois de 2018, deux fois plus qu'en 2017. 89 % des 41 000 malades n'étaient pas vaccinés. L'OMS dénombre au moins 37 morts. En France, 3,4 habitants sur 100 000 sont tombés malades.

I.E.H.M.

... et le couple

Les sites de rencontres n'ont pas empêché l'augmentation du nombre de célibataires... mais ils n'y ont pas contribué non plus, puisque des études suggèrent qu'ils ne favorisent pas l'infidélité (cause majeure de rupture). Ils en ont peut-être même limité l'ampleur : une étude a révélé que le taux de rupture était moindre chez les personnes ayant rencontré leur conjoint sur internet (6% au lieu de 7,7%). Les couples formés en ligne se marient deux fois plus, et 10% des remariages ont lieu grâce à ces sites.

C.H.

#FAKENEWS

#FAKENEWS



Non, la nourriture industrielle n'est pas cancérigène

C'est une affirmation récurrente depuis qu'une étude a montré un lien entre cancer et consommation d'aliments ultra-transformés (AUT) : une catégorie de produits (contenant conservateurs, etc.) trop large pour avoir du sens (poêlées de légumes, sodas, pizzas, surimi...). Si la consommation régulière de certains peut favoriser le cancer, ce n'est sûrement pas le cas de tous. La distinction est importante. Étudier chaque ingrédient permet d'améliorer la qualité des aliments industriels (taxes, seuils, interdictions...) et faits maison (conseils nutritionnels). Mais accuser les produits transformés dans leur ensemble inspire le sentiment irrationnel que la transformation – base de la cuisine – est dange-

reuse lorsqu'elle est réalisée à l'échelle industrielle. Quitte à faire passer au deuxième plan, dans l'esprit du consommateur, les causes premières de maladie que sont excès de gras, de sel et de sucre. Quitte aussi à faire le jeu de régimes (paléo ou crudivore) à l'intérêt nutritionnel discutable. Et à pousser des mères à cuisiner des heures durant les repas maison de bébé... dont une étude suggère qu'ils peuvent être moins équilibrés que les petits pots industriels. Reconnaissons un intérêt à cette tromperie : elle a fait réagir des parlementaires, qui proposent de taxer le sel dans les produits industriels... et artisanaux! Une avancée que n'avaient pas permise vingt ans d'études sur la nocivité de l'excès de sel. **E. Abdoun**



1 000

C'est le nombre de e-cigarettes qui seront distribuées à des détenus des prisons de Caen, grâce à un partenariat entre une association et le CHU. En France, 80% de la population carcérale est composée de fumeurs, contre 32% à l'extérieur. En 2017, un ex-détenu a fait condamner l'État pour tabagisme passif. **E.A.**



802 millions

C'est le nombre d'internautes en Chine, selon le gouvernement. Ce qui représente le quart des utilisateurs dans le monde, dépassant ainsi l'Inde et les États-Unis. Il s'agit à 98% d'utilisateurs connectés via des appareils mobiles. **I.E.H.M.**

Les poubelles “intelligentes” à la conquête des villes

Après New York, Stockholm, Amsterdam, Vincennes, Cannes ou encore Saint-Malo, c'est au tour de Paris de tester ces poubelles urbaines nouvelle génération. Autonomes et connectées, capables, entre autres, de compacter les déchets pour ne pas déborder, et d'optimiser les frais de collecte... Vous avez dit “smart city”?

PAR **ÉTIENNE THIERRY-AYMÉ**

ELLES ENVOIENT UN SIGNAL QUAND ELLES SONT PLEINES

Les poubelles sont reliées par une puce GPRS à une plateforme en ligne. Les agents reçoivent par mail ou SMS des alertes afin d'ajuster leurs tournées. “Nos corbeilles sont vidées une fois par jour ; les corbeilles classiques 4 à 5 fois”, explique Werner Schöpff, gérant d'Urban Futur. Ce qui permet de réduire les frais de tournée de 65 à 75 %.

ELLES COMPACTENT LES DÉCHETS

D'une capacité de base d'environ 120 litres, ces poubelles peuvent recevoir, grâce à un compacteur intégré, jusqu'à 600 litres de déchets, soit 5 fois plus que des corbeilles de rue classiques. Le compactage peut être paramétré et s'activer automatiquement.

5 tonnes

C'est environ le nombre de déchets récupérés tous les jours dans les 14 corbeilles testées aujourd'hui par Urban Futur sur la place de la République, à Paris.

ELLES FONCTIONNENT À L'ÉNERGIE SOLAIRE

Complètement autonomes en énergie, ces poubelles fonctionnent grâce à des panneaux solaires qui alimentent une batterie de 12 V. Intérêt : éviter d'avoir à effectuer des travaux d'infrastructure et de raccordement lors de leur installation. Panneaux et batterie : un dispositif qui permet surtout de faire fonctionner le compacteur mais aussi de transmettre en temps réel le niveau de remplissage à une plateforme de gestion de collecte.

ELLES NE DÉBORDENT PAS... ET AFFICHENT DE LA PUBLICITÉ

Entièrement fermées, ces corbeilles apportent un nouveau support adapté à la publicité interactive et évitent les débordements de déchets sur la voie publique puisqu'elles sont dotées d'une trappe à la manière d'un vide-ordures.



LA **SCIENCE** &
DONNE UNE
SECONDE **VIE**
AU PAPIER.

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE
PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE
UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.

CONSIGNESDETRI.FR

CITEO

Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio

Futur

Science
& société

OCTOBRE
2018

FRANCE
PAYS-BAS
ÉTATS-UNIS



SUPRAWAYS

FRANCE



Des cabines sur rail aérien au cœur des villes

Exploiter les hauteurs à proximité des grands axes urbains pour décongestionner les villes. Tel est le concept de base des Supras (Système urbain personnalisé rapide autonome solaire), imaginés par le Français Claude Escala au sein de sa société Supraways. Concrètement, des cabines de 7 à 9 places, automatisées et autonomes en énergie, glissent de 50 à 100 km/h sur des rails de guidage à 6 m de hauteur sous une infrastructure légère – environ un pilier tous les 30 m – couverte d'auvents solaires. Avec des cabines circulant à moins de 3 secondes les unes des autres et reliant un point A à un point B sans arrêt intermédiaire, le trafic est optimisé grâce aux stations placées en dérivation par rapport au réseau central. Résultat : une capacité estimée de 7 000 à 10 000 passagers par heure et par sens – contre 5 500 pour un tramway de 43 m passant toutes les 3 minutes. Suite aux études réalisées sur l'île de La Réunion, un site pilote pourrait voir le jour d'ici à 2022 à Saint-Quentin-en-Yvelines et dans la communauté d'agglomération Portes de France-Thionville.

A.P.





TOULOUSE



L'A330 va équiper ses soutes de couchettes passagers

Airbus a signé un accord avec l'entreprise Zodiac Aerospace pour équiper ses A330 de couchettes à l'horizon 2020. Particularité de ce nouvel aménagement : les occupants embarqueront... dans la soute. Grâce à des modules "détente" interchangeables avec des containers cargo classiques, les compagnies pourront rentabiliser le moindre mètre carré de leur flotte. La structure de la soute pourra être modifiée dans le temps de rotation régulier. Si le concept prend, Airbus devrait le décliner sur son A350. A.L.D.



PLASTIC ODYSSEY - AIRBUS/ZODIAC AEROSPACE

CONCARNEAU



Inauguration d'un bateau carburant aux déchets plastiques

Filer sur l'eau grâce à des déchets plastiques, c'est le principe du Plastic Odyssey. À bord, un pyrolyseur permet de produire 1 litre de carburant à partir de 1 kg de déchets non-recyclables récupérés sur Terre. La pyrolyse chauffe le plastique afin de fragmenter ses polymères et obtenir du diesel ou de l'essence. Objectif : sensibiliser les populations à la revalorisation des déchets. Un premier bateau de 6 m, *Ulysse*, vient d'être inauguré à Concarneau en juin, et un tour du monde en catamaran de 25 m est envisagé pour 2020.

F.V.



AMSTERDAM



Des batteries auto usées éclairent le foot

Avec l'essor des voitures électriques, la question du recyclage des batteries usagées commence à se poser. Nissan propose une solution étonnante en les reconditionnant pour fournir de l'électricité au stade de football Johan-Cruiff Arena d'Amsterdam. Celui-ci est désormais alimenté par 148 batteries neuves ou usagées. Le dispositif stocke à la fois l'énergie produite par 4200 panneaux solaires disposés sur le toit du stade, et les surplus de production des centrales avoisinantes. Un usage des batteries plus sédentaire qui rend ce recyclage possible. **S.D.**

NEW YORK



Les drones à la rescousse de la pollinisation

Le déclin des populations d'abeilles impacte la pollinisation agricole. Aussi la start-up Dropcopter a-t-elle imaginé un système automatisé à partir de drones. En test dans l'État de New York, la technique consiste à semer du pollen lors de vols programmés au-dessus des champs. Quel que soit le temps, de jour comme de nuit, ces drones distribuent une quantité mesurée de pollen en fonction de l'ouverture des fleurs. Après les amandiers, les cerisiers et les pommiers, la start-up veut cibler de nouvelles cultures. **A.C.**

J. LOUISBERG/LIGHT AT WORK PHOTOGRAPHY/NISSAN - DROP COPTER - T. LANDIS/NASA



CALIFORNIE



Premier vol d'un avion réellement sans pilote



L'Ikhana de la Nasa est le premier engin sans pilote à voler dans l'espace civil sans être escorté par un avion de chasse. La technologie utilisée permet de le guider depuis le sol. L'intégration de ce type d'appareil dans le trafic aérien pourrait servir demain à des missions de reconnaissance ou de sauvetage. **S.F.**

NOUVEAUTÉ 2019, UNE CROISIÈRE EXCEPTIONNELLE !

EN EXCLUSIVITÉ POUR

SCIENCE & VIE

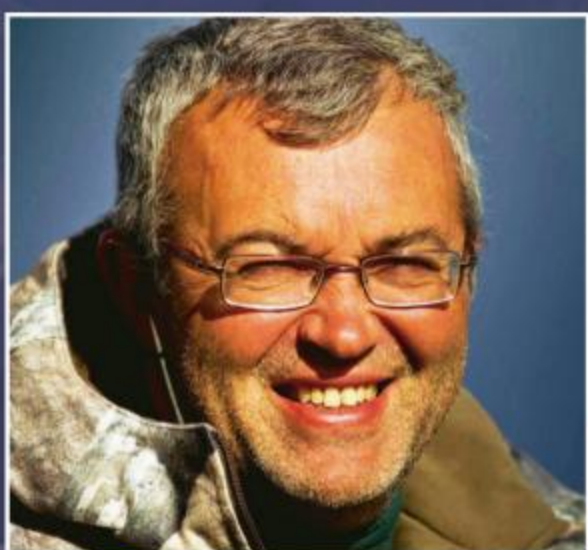
PLACES
TRÈS LIMITÉES

ANTARCTIQUE

Le voyage d'une vie

du 21 février au 08 mars 2019

EN PRÉSENCE DE



RÉMY MARION*

Spécialiste des voyages
polaires et subpolaires
depuis 30 ans

*Sauf cas de force majeure



CHANGER LE CLIMAT

LES SCIENTIFIQUES S'Y PRÉPARENT VRAIMENT

Pour limiter le réchauffement global, l'homme va-t-il finir par agir globalement sur le climat ? À l'heure où les politiques de réduction des émissions à effet de serre patinent, l'idée de manipuler le climat à l'échelle de la planète est aujourd'hui prise scientifiquement très au sérieux. À preuve les deux grands projets que nous vous présentons, l'un visant à sulfuriser l'atmosphère, l'autre à alcaliniser les océans. D'après les simulations, ces solutions dites de "géo-ingénierie" seraient efficaces. Oui, mais des modèles à la réalité, il y a un monde. Il y a l'homme jouant avec le feu...

PAR VINCENT NOUYRIGAT



66

GÉO-INGÉNIERIE
Une solution dictée
par l'urgence
climatique

68

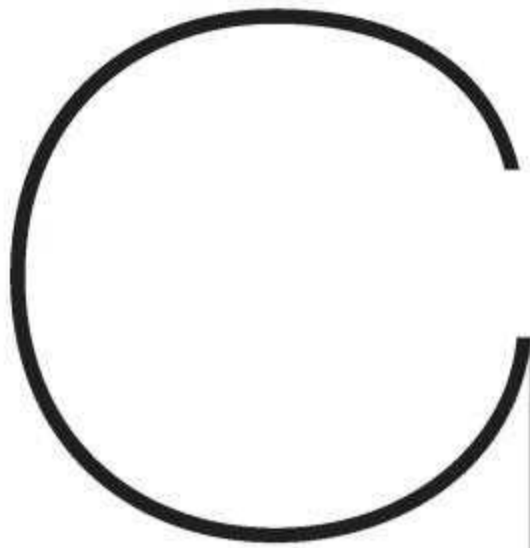
**LE PROJET LE
PLUS ACCESSIBLE**
Sulfurer l'air pour
bloquer les rayons
du Soleil

74

**LE PROJET LE
PLUS AMBITIEUX**
Alcaliniser les
océans pour
absorber le CO₂

78

5 questions à
se poser avant de
passer à l'action



'est un sujet que les climatologues bon teint n'avaient jusqu'ici pas voulu aborder. Un sujet trop sulfureux, réservé à une poignée d'ingénieurs et de chercheurs un peu farfelus capables de lancer en pleine réunion: *"Donnez-moi un demi-tanker de fer et je vous ferai un âge glaciaire!"*

Ces personnages – souvent de mèche avec l'industrie pétrolière – défendent depuis une vingtaine d'années un projet simple, voire simpliste: manipuler le climat terrestre pour mettre fin au réchauffement en cours. Autrement dit, refroidir artificiellement la Terre. Le tout avec des méthodes assez délirantes qui semblent relever de la science-fiction, sinon de calculs de coins de table ou de fins de soirées arrosées (voir *S&V* n° 1071, décembre 2006). Au diable les détails et la complexité de la machinerie terrestre!

Mais, depuis quelques années, le ton a radicalement changé. Plus sérieux, plus crédible, plus grave aussi. Car cette géo-ingénierie (de "géo", "la Terre") est en train de devenir un véritable champ de recherche, avec ses laboratoires prestigieux, ses colloques, ses modèles numériques, ses évaluations rigoureuses et, désormais, ses climatologues bon teint.

Pourquoi un tel revirement? Inutile de vous faire un dessin: notre situation climatique est grave et presque désespérée... Fini la belle confiance affichée après le formidable Accord de Paris signé le 12 décembre 2015 par 195 pays, qui s'étaient engagés à contenir la hausse des températures mondiales "bien en deçà de 2°C" à la fin du XXI^e siècle, et à mener des efforts encore plus poussés pour limiter cette hausse à 1,5°C. Depuis, les États-Unis se sont retirés du traité. Et de toute façon, les engagements pris pour le moment par les autres

signataires nous conduiraient à environ +3,2°C à la fin du siècle (voir courbe). Nettement insuffisant...

Pire peut-être: depuis environ deux ans, les études s'accumulent pour révéler à quel point un réchauffement de 2°C serait déjà épouvantable à bien des égards. Contre toute attente, les dernières simulations montrent en effet un écart stupéfiant entre un monde soumis à +1,5°C et celui porté à +2°C: avec ce simple demi-degré supplémentaire, la surface terrestre touchée par les inondations serait doublée, le niveau de stress hydrique de la planète augmenterait de 50%, la population exposée aux fortes canicules multipliée par trois, tandis que le niveau des mers s'élèverait d'au moins 10 cm, voire de plusieurs mètres, et que le nombre d'espèces menacées de plantes et de vertébrés augmenterait de moitié, celui des insectes de 70%, etc.

UNE NÉCESSAIRE SOLUTION RADICALE?

Deux études parues cet été font même craindre, à la lumière des derniers millions d'années, que ces 2°C constitueraient un seuil critique au-delà duquel les phénomènes pourraient s'emballer de manière irréversible: fonte de la calotte Antarctique conduisant à plusieurs mètres de hausse du niveau de mers durant des millénaires, forêts tropicales devenant savanes...

Autant dire que l'objectif des +1,5°C à la fin du siècle paraît de plus en plus souhaitable: c'est même le sujet du sommet organisé ce début octobre à Incheon (Corée du Sud), qui réunira scientifiques du Giec et décideurs de toute la planète. Une perspective pourtant de plus en plus... irréalisable en pratique avec les "classiques" baisses d'émissions

de CO₂ – même si la Chine semble avoir atteint son pic d'émissions, seule bonne nouvelle du moment.

Car cet horizon exigerait, dès aujourd'hui, une transition énergétique, industrielle, urbaine, agricole sans précédent connu dans l'histoire... pour ne plus émettre le moindre gramme de CO₂ vers 2050. Qui plus est, avec une population croissante.

La tentation d'employer une solution radicale pour "réparer" le climat devient donc de plus en plus irrésistible. Filtrer le rayonnement solaire pour éviter que la température mondiale n'atteigne un seuil fatidique? Absorber massivement l'excès de CO₂ de l'atmosphère pour enfin annihiler l'effet de serre? Sachant qu'il faudra de toute façon réduire nos émissions.

Parmi la montagne de projets agités jusqu'ici, certains commencent à gagner en crédibilité. Deux en particulier: l'injection d'aérosols dans la stratosphère pour contenir le réchauffement, et l'alcalinisation des océans pour aspirer le CO₂ ambiant. L'heure n'est plus pour les scientifiques à la fanfaronnade, mais à l'évaluation précise des réels bénéfices et risques de ces opérations d'une ampleur inédite. Sans rien nier de la complexité du climat terrestre et de ses inconnues. Sans oublier non plus que, parfois, le remède peut être pire que le mal.

Pour la géo-ingénierie, les choses sérieuses commencent...

M. KONTE

Géo-ingénierie: bientôt il n'y aura plus le choix...

SI ON NE FAIT RIEN...

Les émissions de CO₂ ne diminueront pas dans un monde à la population croissante: la température moyenne globale s'élèvera de 5 °C.

+6 °C

SI ON CONTINUE COMME ÇA...

En maintenant le rythme actuel de développement des énergies renouvelables, d'efficacité énergétique et agricole, la Terre atteindrait + 3,7 °C

AVEC L'ACCORD DE PARIS...

Même les engagements pris par les 195 pays signataires de la COP21 sont insuffisants: la température devrait atteindre les + 3,2 °C.

+4 °C

+2 °C

+1,5 °C

AVEC LA GÉO-INGÉNIERIE...

Pour rester sous le seuil des + 2 °C, il faudrait aspirer de grandes quantités de CO₂ bien avant 2050! voire bloquer les rayons du Soleil.

2000

2050

2100 →

LE PROJET LE PLUS ACCESSIBLE

SULFURISER L'AIR
POUR BLOQUER LES
RAYONS DU SOLEIL

— aire baisser la fièvre d'urgence...

— Ou, au moins, la contenir pour éviter qu'elle n'atteigne un seuil critique pour la planète. Penchés au chevet du climat en surchauffe, certains scientifiques envisagent un traitement de choc : injecter chaque année des millions de tonnes de particules de soufre dans la stratosphère, à environ 20 km d'altitude, pour bloquer une partie du rayonnement solaire — de l'ordre de 1%. Un traitement directement inspiré des éruptions volcaniques majeures, comme celle du Pinatubo qui, en 1991, avait refroidi l'atmosphère mondiale d'environ 0,4°C. Par simple effet parasol!

M. SAEMANN

“Sans baisse massive et rapide des émissions de CO₂, cette technique

serait la seule capable de maintenir le climat sous le seuil des 1,5 ou 2°C”, lance Douglas MacMartin, géo-ingénieur à l'université Cornell. D'autant plus, relève Roland Sférian, du Centre national de recherches météorologiques, que “techniquement, la manœuvre n'a rien d'inaccessible : elle rappelle l'ensemencement des nuages pratiqué depuis la guerre froide”. Une armada de ballons-sondes, de drones ou d'avions adaptés aux hautes altitudes pulvérisant leurs aérosols en certains endroits stratégiques du globe pourraient faire l'affaire (voir encadré).

L'idée n'est pas nouvelle, mais les travaux de modélisation sérieux sur le sujet ont commencé depuis quelques années seulement. →



DES BALLONS PULVÉRISATEURS DE SOUFRE

Principe

Injecter dans la stratosphère un gaz qui bloquera une partie du rayonnement solaire

Durée des opérations

Au moins plusieurs décennies

Où ?

Vers 25 km d'altitude, typiquement entre 30° de latitude Nord et 30° de latitude Sud

Moyens mobilisés

10 millions de tonnes de dioxyde de soufre par degré de refroidissement, plus une dizaine de ballons stratosphériques reliés à d'immenses bombonnes de gaz au sol

Potentiel

Capable de maintenir le réchauffement planétaire sous la barre des +1,5°C

→ Aujourd'hui, des équipes de climatologues américains, anglais, français, finlandais, allemands ou encore chinois tentent de répondre à de pressantes questions : ce remède de cheval peut-il être efficace ? Ne court-on pas le risque de terribles effets secondaires ? En un mot, l'homme peut-il vraiment contrôler l'atmosphère ?

Les réponses sont loin d'être évidentes. Car, il ne faut pas s'y tromper : même avec les meilleures intentions du monde, tenter de manipuler le climat terrestre revient ni plus ni moins à intervenir sur un système chaotique hautement sensible et encore très mal connu. Autant dire, un grand saut dans le vide.

SUR LE PAPIER, ÇA MARCHE...

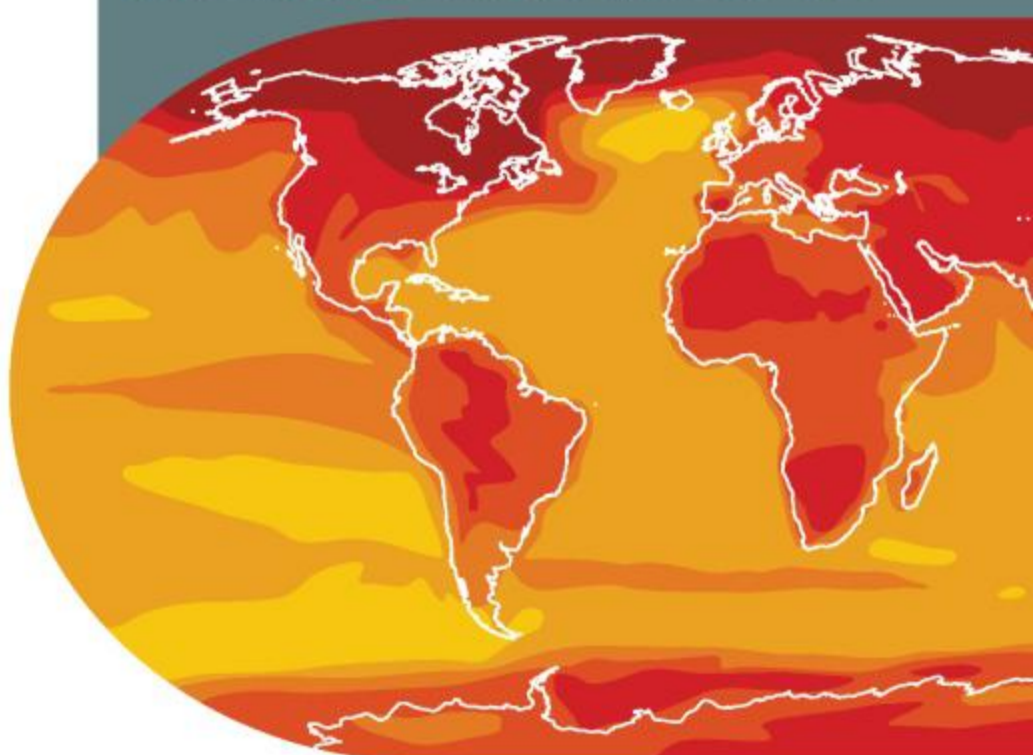
"Une fois que vous avez libéré vos aérosols dans la stratosphère, ceux-ci vont y rester environ un an, et vous ne les contrôlerez plus", avertit Olivier Boucher, directeur de recherche au laboratoire de Météorologie dynamique.

Une efficacité démontrée par les modèles

Les résultats des modèles numériques sont encourageants : l'injection simulée d'aérosols dans la stratosphère parvient bien à contenir le réchauffement mondial autour de 1,5 °C à l'horizon 2100 (carte de droite) ; alors que les engagements pris par les États nous conduisent à environ +3 °C (carte de gauche).

La présence massive et continue de ces particules ne sera certainement pas anodine pour la stratosphère. Le soufre ayant de nombreux défauts, plusieurs équipes de chimistes sont à la recherche de l'aérosol le moins perturbant, et une première expérience devrait avoir lieu cet automne au-

La planète en 2100 sans géo-ingénierie : +3 °C



dessus de l'Arizona avec du calcaire (lire ci-dessous). Toujours est-il qu'en filtrant le rayonnement solaire, ces aérosols produiront une lumière plus diffuse... risquant d'abaisser significativement le rendement des cultures céréalières, selon des travaux américains parus cet été.

Les chercheurs ont peu de doutes sur l'effet refroidissant de cette technique. Tous les modèles actuels montrent qu'elle peut effectivement abaisser la température globale de la planète ou la maintenir en dessous d'un certain seuil, et cela même si les émissions de CO₂ continuaient d'augmenter...

Globalement, sur le papier, l'aggravation des canicules, des cyclones ou de la fonte des glaciers pourrait grâce à cette technique être à peu près bien jugulée. Le problème c'est que, à l'échelle régionale, des disparités importantes apparaissent dans ces simulations : ici, une température un peu plus importante qu'attendue ; là, un régime de précipitations plus bas qu'espéré ; ou bien une probabilité d'événements extrêmes bizarrement accrue ; des trajectoires de tempêtes anormales... Autant d'effets secondaires plus ou moins inquiétants.

Du calcaire plutôt que du soufre ?

Soucieux d'imiter l'effet refroidissant des éruptions majeures, les géo-ingénieurs ont misé sur des particules de soufre semblables à celles crachées par les volcans. Seulement voilà : cet élément chimique favorise la destruction d'ozone ; sa retombée dans l'atmosphère pourrait générer des pluies acides et autres pollutions de l'air ; et son échauffement par les rayons du soleil perturberait la dynamique et la composition globales de la stratosphère, avec de possibles effets climatiques. Alors ? *"Il y a un autre candidat très prometteur : le carbonate de calcium, évoque Frank Keutsch, chimiste à Harvard. Le calcaire a des caractéristiques optiques idéales, il réfléchit la lumière sans absorber les radiations solaires, ni l'infrarouge terrestre ; il semble inoffensif pour l'ozone ; il n'est pas acide et il est soluble dans l'eau de pluie, ce qui diminue les risques de pénétration dans les voies respiratoires..."*

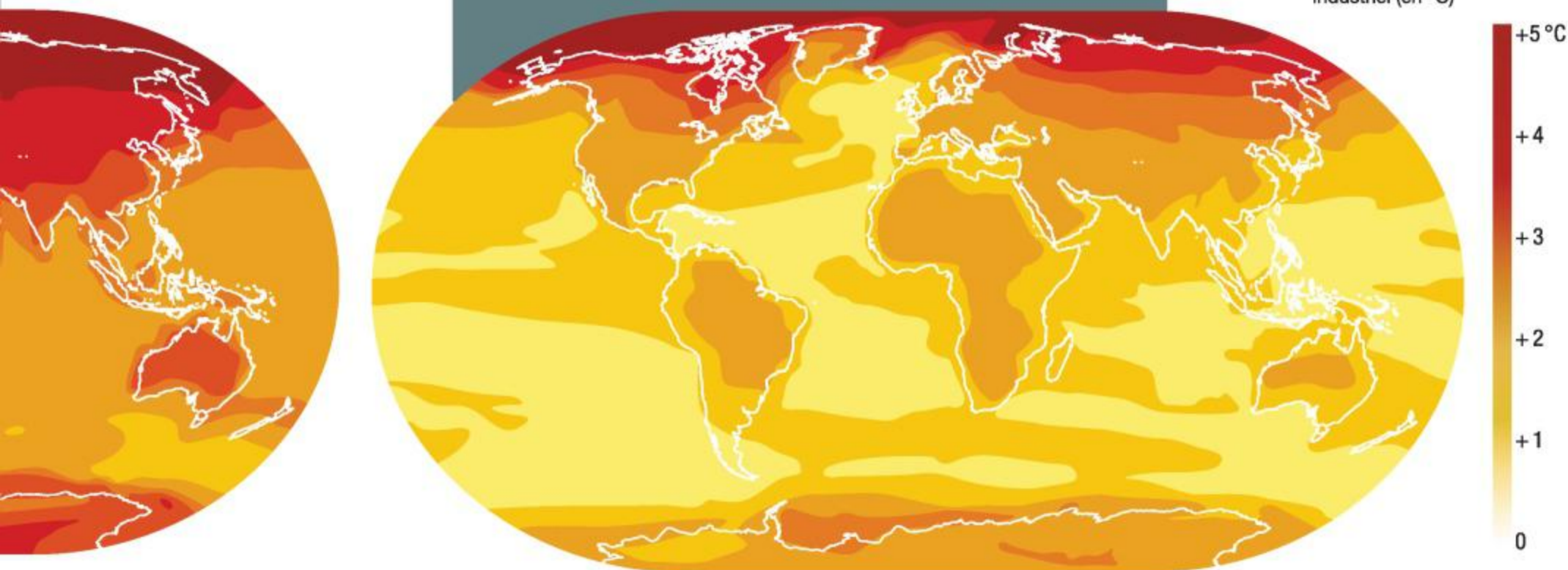
Reste à étudier ses effets sur la stratosphère : une première expérience est prévue cet automne, au-dessus de l'Arizona.

> Le carbonate de calcium pourrait être le candidat idéal : inoffensif pour l'ozone, il n'est pas acide et réfléchit bien la lumière.



La planète en 2100 avec géo-ingénierie: +1,5°C

Évolution des températures par rapport au climat pré-industriel (en °C)



SOURCE: PHIL. TRANS. R. SOC., 2017

“Cette géo-ingénierie solaire parvient à contrecarrer le changement climatique dans la plupart des régions du monde, mais il est impossible de stabiliser parfaitement le climat partout”, souligne Anthony Jones, modélisateur à l’Agence météo britannique. Il faut bien avoir conscience qu’un climat maintenu artificiellement à +1,5°C ne peut pas être tout à fait le même qu’un climat qui aurait atteint naturellement cet objectif – en réduisant nos émissions de gaz à effet de serre. Cette technique de manipulation solaire est forcément imparfaite... Pourquoi?

“La présence de CO₂ dans l’atmosphère fait grimper la température en piégeant les rayonnements infrarouges de la Terre, alors que l’injection d’aérosols tente d’abaisser cette température en bloquant le rayonnement solaire”, explique Anton Laakso, chercheur à l’Institut météorologique finlandais. Les deux phénomènes jouent sur le même paramètre, la température de l’atmosphère, mais en agissant selon des mécanismes fondamentalement différents. Si bien que la géo-ingénierie solaire ne peut pas totalement compenser chaque impact créé par le gaz à effet de serre.”

Les différences sont nombreuses. Un exemple? Alors que le CO₂ se répartit à peu près uniformément au sein de l’atmosphère terrestre, le rayonnement solaire, lui, s’exerce très inégalement selon les latitudes. “Comme il y a plus de rayonnement solaire à l’équateur, il y a à cette latitude davantage d’énergie réfléchi par les aérosols: la géo-ingénierie solaire a donc tendance à sur-refroidir les tropiques par rapport aux pôles”, signale Olivier Boucher.

UN SYSTÈME ULTRA-INTRICUÉ

Autre problème: le rayonnement solaire agit différemment sur les régimes de précipitations que le CO₂; l’un joue seulement sur le rythme de l’évaporation, l’autre a une influence sur la stabilité de l’atmosphère. Au total, cette intervention radiative devrait entraîner une baisse des pluies à l’échelle mondiale. Ce qui fait craindre des pertes critiques dans des zones de mousson ou des régions semi-arides, ces dernières étant déjà dégradées par le réchauffement climatique.

D’où la question: cette géo-ingénierie produira-t-elle inévitablement son lot de régions sacrifiées?

Ce remède ne serait-il pas, par endroits, pire que le mal?

“Cette technique ne fait sens que si les bénéfices sont très nettement supérieurs aux risques, et si ces risques sont répartis de façon suffisamment uniforme”, lance David Keith, chercheur en géo-ingénierie à Harvard. C’est tout l’enjeu des recherches actuelles. Les climatologues élaborent en ce moment des stratégies qui permettraient de minimiser voire, dans certains cas, d’éliminer ces effets secondaires. “Ces effets dépendent essentiellement de la latitude et de l’altitude auxquelles seront opérées les injections d’aérosols, ainsi que de la nature de ces aérosols, de leur quantité, voire de la saison à laquelle ils sont libérés”, résume Ben Kravitz, physicien de l’atmosphère au Laboratoire national du Pacifique Nord-Ouest.

Une récente étude américaine a ainsi révélé que l’ajout d’aérosols depuis plusieurs zones situées à 15 degrés de latitudes nord et sud, et à environ 25 km d’altitude, semblait être la solution la plus efficace, en permettant un meilleur transport des aérosols vers les plus hautes latitudes ainsi qu’un refroidissement plus uniforme.

→ Des chercheurs finlandais ont également proposé l'été dernier de varier les lieux d'injection en fonction des saisons et de l'intensité solaire : à partir d'avril dans l'hémisphère Nord, en octobre dans l'hémisphère Sud. Et certaines équipes réfléchissent à combiner ces manipulations stratosphériques avec des techniques de modification des nuages (voir page suivante).

UN IMPOSSIBLE ALGORITHME ?

Une chose est sûre : dans ce système climatique ultra-intriqué, ces manœuvres demanderont beaucoup de finesse et une recherche d'équilibre permanente. Ainsi, une récente étude anglaise a montré qu'injecter des aérosols seulement dans l'hémisphère Nord déstabiliserait la zone de convergence intertropicale, laquelle agit sur le régime des pluies au Sahel et sur la formation des cyclones... En clair, un pays qui déciderait tout seul d'injecter des aérosols au-dessus de son territoire pour traiter un problème climatique risquerait d'en créer beaucoup d'autres ailleurs.

Les climatologues s'inquiètent également des conséquences que pourrait avoir un arrêt brutal de cette manipulation radiative, après plusieurs décennies d'injections – que ce soit à la suite d'une décision politique, d'une guerre, d'une catastrophe naturelle ou d'un acte terroriste... *“La température globale augmenterait alors très rapidement, prévient Olivier Boucher. En seulement dix ans, l'atmosphère regagnerait environ 70 % du réchauffement masqué jusqu'ici par la géo-ingénierie.”* Un “choc terminal” qu'il faudra savoir éviter...

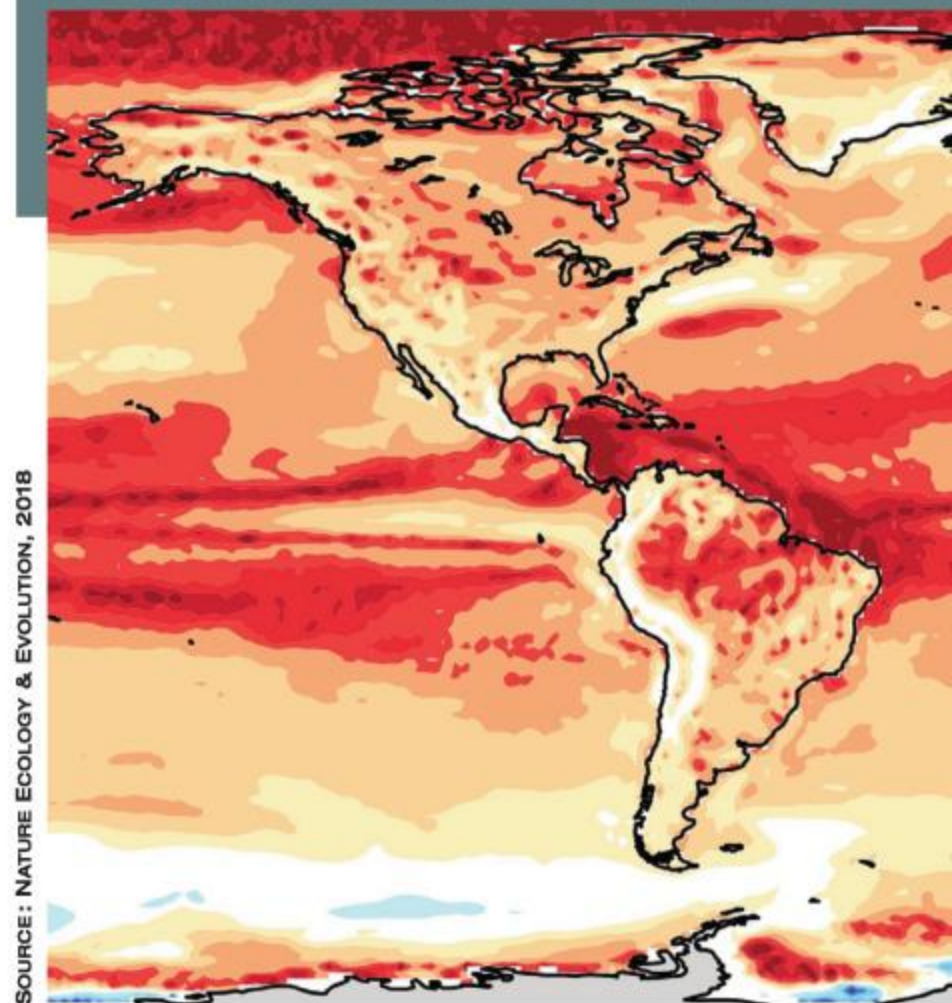
“Nous cherchons à acquérir un maximum d'informations scientifiques pour permettre aux responsables politiques de prendre leur décision le moment venu...” résume Ben Kravitz.

Mais pour l'instant, difficile de trancher sereinement. Certes, les

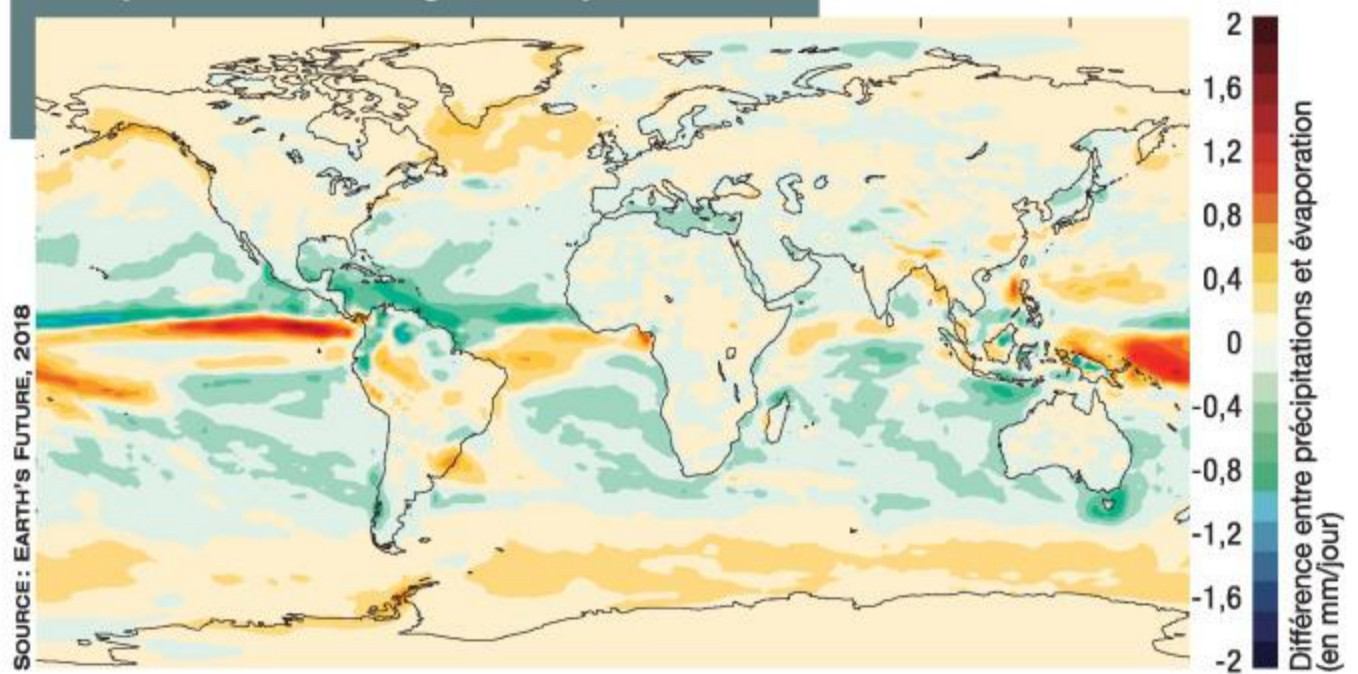
Mais des effets secondaires sont à craindre

Atténuer le rayonnement solaire ne permet pas de compenser entièrement l'effet de serre. Le climat n'est pas tout à fait stabilisé : le procédé introduit, par exemple, des perturbations délétères sur les régimes des pluies de certaines régions du monde (carte ci-dessous) ; et s'il venait à être interrompu subitement, le réchauffement reprendrait à des vitesses inédites (carte ci-contre).

Le risque d'un effet rebond des températures



Une perturbation du régime des pluies



dernières simulations montrent qu'une planète maintenue à +1,5°C par des manipulations rondement menées serait beaucoup plus proche d'un monde plus chaud de 1,5°C sans intervention que du climat affichant +3°C qui nous est promis à la fin du siècle. Les chercheurs restent néanmoins extraordinairement prudents : les modèles utilisés jusqu'à présent sont beaucoup trop rudimentaires, et les inconnues encore

vertigineuses, tant sur la délicate chimie des aérosols que sur l'atmosphère dans son ensemble. *“Il y a encore quinze ou vingt ans de travail de recherche”*, estime le géo-ingénieur Douglas MacMartin.

Quel serait l'impact de ces injections à la latitude x ou y sur la circulation de la stratosphère ? L'atmosphère réagira-t-elle autrement en plein El Niño ? Et surtout : comment être sûr qu'une stratégie garantie

3 AUTRES PISTES

1. ÉCLAIRCIR LES STRATOCUMULUS

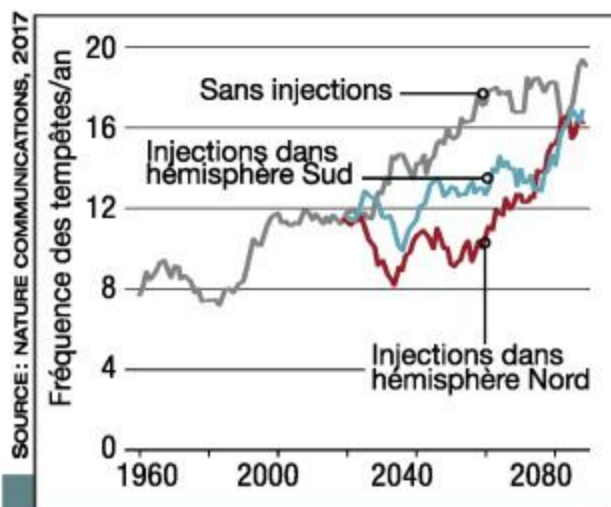
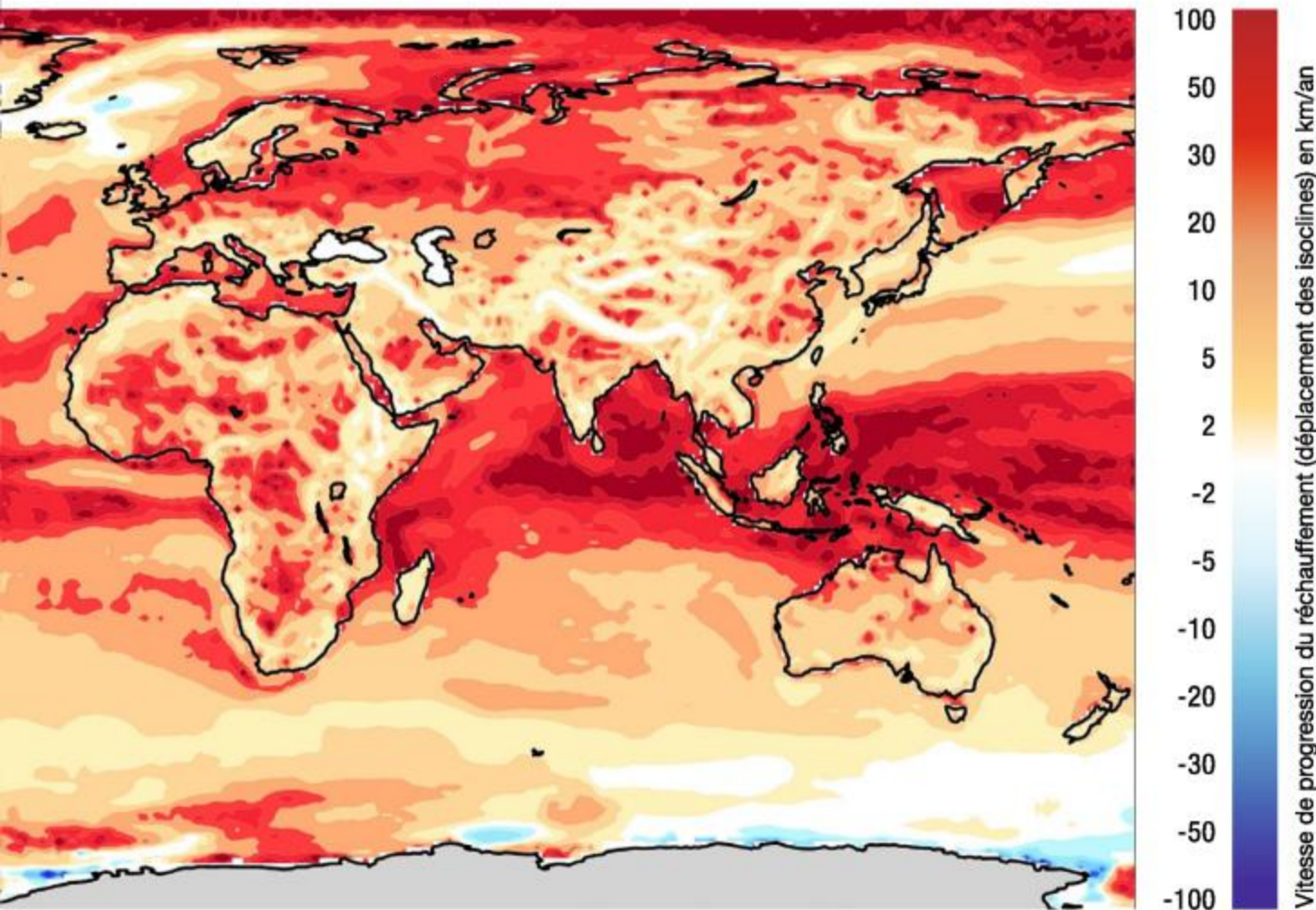
Le principe : injecter des microgouttes d'eau de mer au cœur des nuages océaniques pour augmenter leur pouvoir réfléchissant. Une méthode potentiellement efficace, selon des études récentes, mais handicapée par de gros effets secondaires : perturbation des pluies côtières, amplification des différences thermiques entre terres et mers...

2. AMINCIR LES CIRRUS

Ces nuages de haute altitude piègent une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre, réchauffant ainsi l'atmosphère. La technique consisterait à leur injecter des poussières pour faire grossir leurs gouttelettes et, donc, les faire retomber. Un concept élégant... sauf que ces nuages sont mal modélisés et difficiles à traquer.

3. BLANCHIR LES SOLS

Il s'agirait de repeindre toits et routes en blanc, de favoriser les cultures agricoles les plus claires, voire de fabriquer des céréales OGM à fort albédo. Selon les dernières simulations, ce procédé pourrait abaisser localement la température de 2 à 3 °C lors d'une canicule... mais il n'aurait aucun impact sur les températures moyennes à l'échelle mondiale.



Un impact variable sur les cyclones

Selon les zones d'injection (ici hémisphère Nord ou Sud), les effets diffèrent fortement.

“sans effet secondaire” simulée sur ordinateur fonctionnera dans la vraie vie? “Il paraît difficile, sinon impossible, d'en apporter la preuve formelle, reconnaît Anton Looksa. En fait, les impacts réels ne seront connus que lorsque ces techniques de géo-ingénierie auront été mises en œuvre pendant des décennies...” Et il serait alors trop tard.

M.KONTENTE

Cela étant, les scientifiques ne désespèrent pas d'échapper à cette

impasse. Le rêve d'un algorithme capable, malgré toutes ces incertitudes, de contrôler le climat terrestre n'est peut-être pas si lointain : une équipe américaine planche ainsi depuis quelques années sur un programme permettant d'adapter en permanence les injections d'aérosols pour maintenir, à la fois, la température globale au niveau voulu et stabiliser certains paramètres climatiques critiques, comme le gradient de température entre l'équateur et les pôles. Avec des résultats à la fois bluffants et intrigants, témoigne Ben Kravitz : “Dans notre dernière étude, nous sommes parvenus à contrôler trois paramètres de température du climat global... Mais combien devons-nous et pourrions-nous en contrôler au final? 10, 100, 1 000 ? Dans des milliers de régions différentes? En tenant compte aussi des précipitations? Et des critères de sécurité alimentaire? Quel niveau de connaissances nous faudra-t-il pour vraiment contrôler le refroidissement du climat?” Un immense champ de recherche est ouvert.



LE PROJET LE PLUS AMBITIEUX

ALCALINISER LES OCÉANS POUR ENGLOUTIR LE CO₂

Apaiser immédiatement les symptômes ou soigner la maladie sur le long terme? Autrement dit: faire baisser d'urgence la température mondiale ou tenter d'éradiquer l'effet de serre tout au long du XXI^e siècle? Pour la plupart des scientifiques, la deuxième option semble la plus judicieuse – même s'il n'est pas interdit de faire les deux.

Or, la manipulation du rayonnement solaire (voir pages précédentes) ne ferait qu'apaiser les symptômes climatiques – la fièvre – sans rien régler des causes profondes du mal... À savoir, les 40 milliards de tonnes de CO₂ que nous continuons de déverser chaque année dans l'atmosphère, et qui s'y accumulent, alimentant l'effet de serre.

Le défi s'annonce vertigineux, car il s'agit non seulement d'annihiler nos émissions, mais aussi d'aspirer plusieurs centaines de milliards de tonnes de CO₂ tout au long du siècle. "Tous les scénarios visant les 1,5°C comprennent des mesures d'absorption du dioxyde de carbone", témoigne Roland Sférian, du Centre national de recherches météorologiques.

Mais comment s'y prendre? Une solution d'ampleur émerge depuis environ deux ans: stimuler les capacités d'absorption des océans, qui épongent déjà naturellement 28% de nos émissions. On ne parle pas ici de leur fertilisation, cette idée qui consiste à déverser du fer dans l'eau pour dopper l'activité photosynthétique →

M. SAEMANN



DES BATEAUX DISPERSEURS D'OLIVINE

Principe

Déverser des minéraux dans l'océan pour l'enrichir en ions magnésium, sodium ou calcium, et améliorer la solubilité du CO₂ dans l'eau de mer

Durée des opérations

Jusqu'à la fin du XXI^e siècle

Où ?

À la surface des océans, peut-être sur les eaux côtières, voire les plages

Moyens mobilisés

Environ 1 000 milliards de tonnes de minerai d'olivine ou de chaux, plus une flotte de milliers de navires pour la disperser en permanence

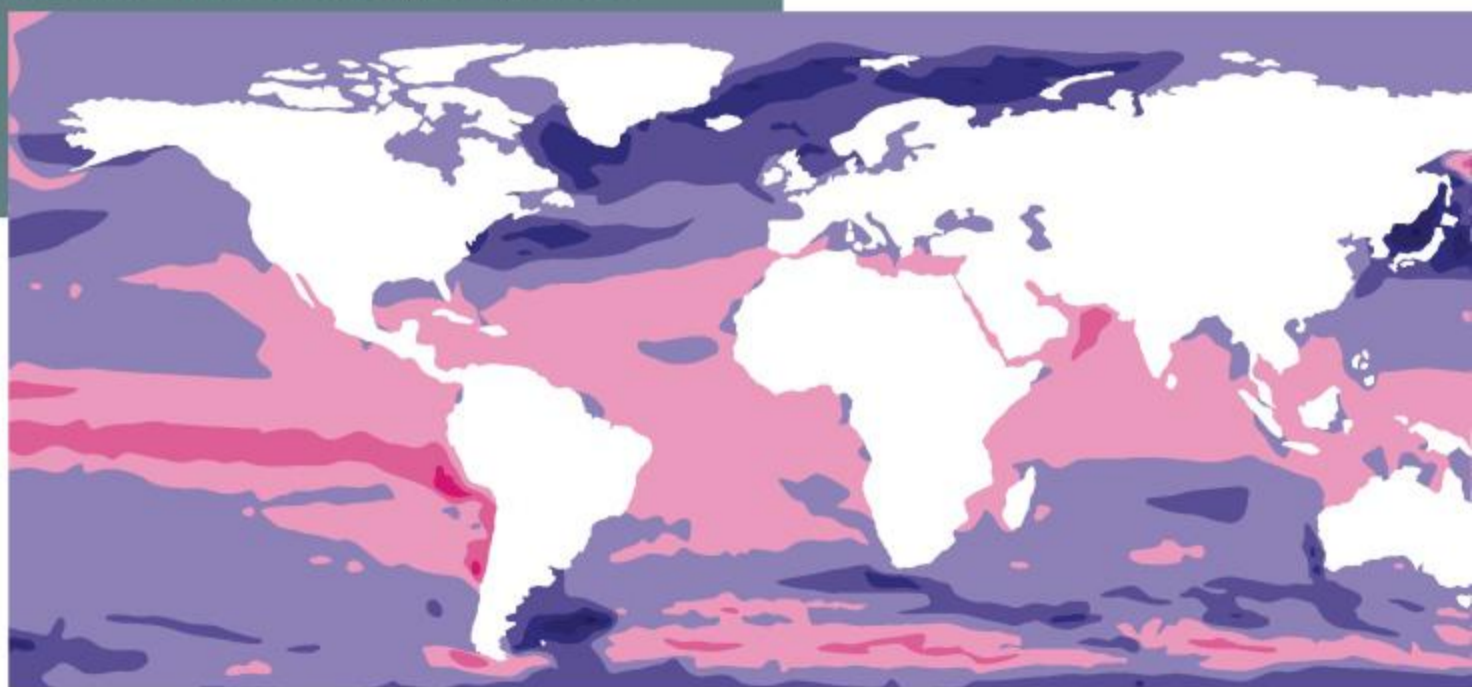
Potentiel

Capable d'absorber 1 000 milliards de tonnes de CO₂ et de stabiliser la température vers +1,5 °C

Une fois alcalinisé, l'océan absorbe beaucoup plus de CO₂

D'après les dernières simulations, l'épandage de minéraux sur les eaux de surface provoquerait en 2100 une absorption accélérée de CO₂ dans l'océan tout entier – spécialement dans les mers froides qui pourraient ingurgiter chaque année plus de 120 g/m² de carbone. Même les régions tropicales, habituellement sources de dioxyde de carbone, deviennent de véritables puits.

Absorption du CO₂ sans géo-ingénierie



→ des phytoplanctons: les derniers tests ayant montré à quel point cette technique serait peu efficace, en plus d'être menaçante pour les écosystèmes. Non, on parle là d'un phénomène purement chimique.

En l'occurrence, le niveau de CO₂ océanique est régulé, à l'échelle de centaines de milliers d'années, par l'apport d'ions calcium et magnésium arrachés par les pluies aux roches continentales. *“Ce processus chimique réduit la concentration de CO₂ des eaux de surface, ce qui crée un déséquilibre avec l'air ambiant: des flux de CO₂ atmosphériques se dirigent alors vers l'océan”*, explique Andrew Lenton, de l'agence de recherche australienne Csiro. Un

phénomène naturel que certains chercheurs voudraient donc accélérer brutalement en répandant par bateaux entiers de fines particules de minéraux (au choix: olivine, wollastonite, calcite, dolomite, etc.). On parle alors d'alcalinisation artificielle des océans.

DES PERSPECTIVES ILLIMITÉES

Une stratégie qui séduit même les scientifiques les plus rétifs à la géo-ingénierie: *“Contrairement à la fertilisation, il n'y a pas vraiment de limite à la quantité de carbone que l'océan peut assimiler par cette voie”*, remarque Laurent Bopp, du laboratoire des Sciences du climat et de l'environnement. En tout cas, ses capacités s'annoncent bien supérieures à celles de toutes les autres solutions envisagées jusqu'ici (voir ci-contre): selon les dernières modélisations menées par l'Institut Max-Planck de Hambourg, cette technique permettrait d'engloutir près de 3 500 milliards de tonnes de CO₂ d'ici à la fin du siècle, soit bien plus qu'il n'en faut pour éviter les pires scénarios climatiques! En outre, ce carbone devrait être gentiment stocké dans les profondeurs pour des milliers d'années, et donc mis durablement à l'écart de l'atmosphère; alors que la séquestration souterraine du CO₂

proposée par l'industrie pose, elle, tant de problèmes.

Cerise sur le gâteau: *“Cette transformation chimique augmente aussi le pH de l'eau, permettant de contre-carrer l'acidification des océans qui menace coquillages et coraux”*, s'enthousiasme Andrew Lenton.

L'alcalinisation des océans serait-elle la solution ultime, la panacée tant attendue? Pas si vite...

Car cette vaste intervention humaine pourrait, selon des études récentes, entraîner des transformations géochimiques de l'océan d'une ampleur sans précédent et aux conséquences totalement inconnues. *“Le niveau de pH et le taux de saturation en minéraux carbonés pourraient dépasser substantiellement les conditions naturelles”*, alerte Tatiana Ilyina (Institut Max-Planck, Hambourg). Les modèles anticipent notamment des évolutions radicales dans l'océan Arctique, ainsi que dans les mers tropicales.

Au risque de franchir localement certains seuils critiques qui nuiraient à la vie océanique? *“Très franchement, nous ne savons pas quel serait l'impact pour les écosystèmes marins, reconnaît Andrew Lenton. L'essentiel des travaux de biologie n'a jusqu'ici pas été mené sur un océan plus basique mais plus acide.”*

✓ Le minéral d'olivine est le candidat idéal: il est abondant dans la croûte terrestre, riche en magnésium et se dissout facilement dans l'eau.



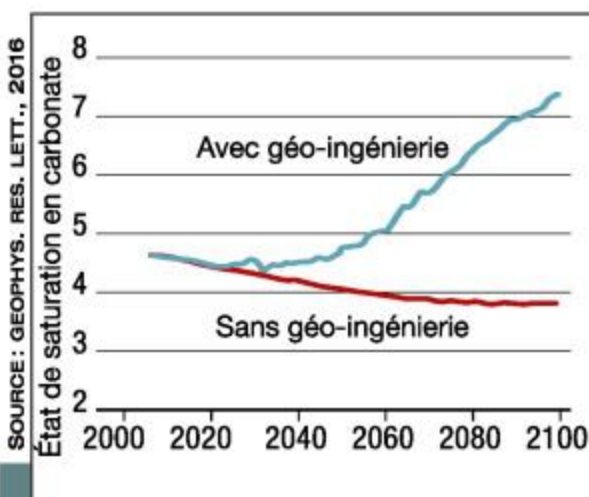
Absorption du CO₂ avec géo-ingénierie



SOURCE : INSTITUT MAX-PLANCK DE MÉTÉOROLOGIE, 2017

L'une des seules études sur le sujet indiquait, en 2013, quelques problèmes respiratoires chez les crustacés dans un environnement très basique. "Les éventuels effets sur la faune marine restent un problème très critique, qui doit maintenant être évalué, insiste Tatiana Ilyina. Les effets secondaires indésirables dépendront certainement de la manière dont la technique sera mise en œuvre." Sans doute faudra-t-il aussi sélectionner avec soin les minerais à déverser dans la mer, certains pouvant contenir des éléments toxiques comme le nickel, le cadmium ou le chrome.

À vrai dire, l'ampleur de ces opérations d'alcalinisation interroge sérieusement. Car l'infrastructure a priori nécessaire paraît tout sauf écologique : des mines d'olivine ou de calcaire à la production multipliée par cent voire mille, des cohortes de camions, sans doute l'équivalent de la flotte mondiale de bateaux actuelle déversant leur poudre au milieu des océans. Face à des impératifs aussi délirants, les chercheurs sont en quête de scénarios plus accessibles : une récente étude allemande montre ainsi que déverser ces minerais uniquement dans les zones côtières (moins de 200 m de profondeur) serait tout aussi efficace. "On pourrait aussi exploiter



Vers une chimie inconnue

L'alcalinisation risque de modifier radicalement la chimie des océans.

les puissants courants océaniques, comme le Gulf Stream ou le Kuroshio dans le Pacifique, pour répandre cette alcalinité", suggère Ellias Feng (centre Geomar, Allemagne). D'autres chercheurs proposent de déposer ces poudres minérales à même les plages sableuses. L'enjeu étant d'absorber massivement le CO₂ atmosphérique, et pas seulement quelques centaines de millions de tonnes ici ou là – à peine de quoi compenser les émissions du transport aérien.

"Vu l'ampleur du problème à régler, personne ne pense qu'une seule technique sera suffisante", confie Andrew Lenton. Mais exploiter la puissance chimique des océans paraît désormais incontournable.

3 AUTRES PISTES

1. PLANTER DES FORÊTS

La solution paraît toute naturelle, mais ces monocultures d'eucalyptus ou de pins devraient accaparer beaucoup de terres arables – pénalisant les populations qui y vivent – et risquent également d'affecter l'albédo du sol.

2. DOPER LES SOLS

Il serait possible d'augmenter de 0,4 % par an leur teneur en carbone, en jouant sur les rotations culturales et leur couvert végétal. Mais le résultat risque d'être modeste.

3. ASPIRER LE CO₂ AVEC DES TURBINES

Des turbines capables d'aspirer l'air ambiant pour ensuite en extraire les 0,04 % du CO₂ qu'il contient sont à l'étude. Un procédé encore très cher, gourmand en eau et qui nécessiterait un stockage.

GÉO-INGÉNIERIE CLIMATIQUE

5 QUESTIONS AVANT DE PASSER À L'ACTION

Manipuler sur écran le climat est une chose, le faire en est une autre. Car il faudra s'entendre sur la mise en œuvre et, surtout, anticiper les effets pour la planète. Sous peine de semer le chaos.

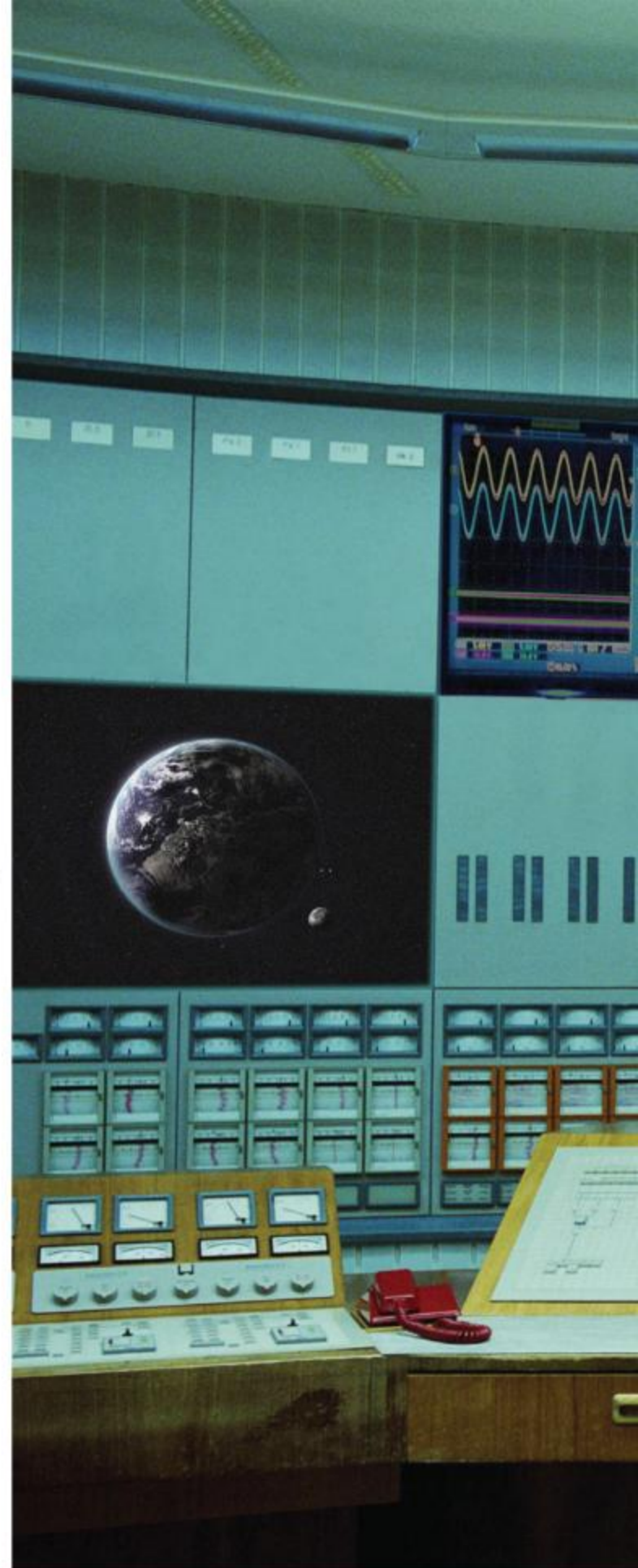
La géo-ingénierie se limite aujourd'hui à quelques simulations numériques. Pas de quoi, pour le moment, mobiliser les plus hauts dirigeants de la planète. Mais parions qu'il en sera tout autrement lorsque les études scientifiques auront abouti ou que les infrastructures nécessaires seront à portée de main.

La communauté internationale sera-t-elle alors capable de se mettre d'accord pour lancer ce qui serait sans doute l'un des projets les plus fous de l'histoire ? Saurons-nous maîtriser une telle technologie ? Ou bien en interdire absolument la mise en œuvre au vu des risques encourus ?

Hormis la bombe atomique, aucune réalisation passée de l'humanité n'offre une telle dimension planétaire et un si grand potentiel dramatique : manipuler délibérément le climat mondial ne donne pas franchement le droit à l'erreur. Au point que le dernier rapport du Giec estimait que la manipulation solaire pourrait être *"socialement et institutionnellement infaisable"*.

Depuis dix ans, ces épineuses questions de gouvernance agitent une communauté de juristes, éthiciens, sociologues et diplomates – des membres de l'Assemblée générale

des Nations unies se sont même penchés sur le sujet ce printemps. Ces experts tentent de cerner les problèmes inédits posés par ces géotechniques émergentes face auxquelles les traités internationaux actuels paraissent impuissants. Avec le sentiment que ces questions devront être résolues avant que les scientifiques ne se déclarent en mesure d'intervenir dans la machinerie terrestre... Sous peine que le monde bascule dans le chaos climatique et géopolitique.



1 Qui décidera de lancer les opérations ?

À ce stade, aucune institution n'a de légitimité pour prendre l'initiative de manipuler le rayonnement solaire au nom de la planète entière... Sachant que les bénéfices potentiels, les risques et les coûts d'une telle opération sont aujourd'hui très mal connus. *"Nous pensons que cette technologie ne peut pas être*

gouvernée au sein d'une seule instance internationale, mais par de multiples forums globaux et locaux, avance Janos Pasztor, directeur du C2G2 (Carnegie Climate Geoengineering Governance Initiative). Chaque décision touchant à l'atmosphère nous concerne tous... L'un des plus grands défis sera de



trouver un moyen pour la communauté internationale de s'assurer que tout le monde sera traité justement." Car le risque est grand de voir ce pouvoir de décision tomber entre les mains d'une sorte de "géoclique", à savoir une poignée de pays riches ou d'industriels très impliqués dans le développement de ces technologies. Raison

pour laquelle plusieurs ONG et institutions locales, comme l'Union africaine ou le Conseil de l'Arctique, s'impliquent déjà dans les discussions. Un appel à projets a également été lancé au début du mois d'avril pour modéliser spécifiquement les impacts de la géo-ingénierie dans les pays en voie de développement. Et les

scientifiques des pays du Sud commencent aussi à se mobiliser. Dès 2009, les géo-ingénieurs d'Oxford avaient d'ailleurs établi comme principes fondamentaux la participation du public aux discussions, le libre accès aux résultats de la recherche et la vérification des modèles par un organisme indépendant. "Établir

un mode de gouvernance est une priorité, car il serait possible techniquement et financièrement qu'une coalition de pays, ou même un État isolé, voire un milliardaire, lance sans concertation sa propre géo-ingénierie solaire, souffle Janos Pasztor. Ce qui aurait des conséquences climatiques et géopolitiques sérieuses."



2 Quel climat choisir ?

Sujet épineux : tel pays pourrait trouver un avantage économique à un réchauffement porté à +2°C, quand d'autres voudraient absolument se limiter à +1,5°C, voire insisteraient pour revenir à terme au climat préindustriel ! Mais certaines manipulations pourraient peut-être aussi

refroidir davantage l'été que l'hiver (ou inversement, selon les goûts), agir finement sur la trajectoire ou la fréquence des cyclones tropicaux, le niveau des mers ainsi que l'intensité de la mousson – qui joue dans certaines régions sur les rendements agricoles, mais dans d'autres sur l'am-

pleur des inondations. Sauf qu'un climat à la carte paraît une hérésie. Tout est lié dans l'atmosphère : *"Si chacun veut optimiser son climat régional, de profondes contradictions apparaîtront*, souligne Olivier Boucher (laboratoire de Météorologie dynamique, CNRS). *D'autant qu'il n'existe*

pas à proprement parler de climat parfait : même l'atmosphère préindustrielle connaissait des événements extrêmes." Ce qui n'empêchera sans doute pas les pays les plus puissants de tenter d'imposer leur climat préféré, pour leur population, voire leurs écosystèmes.

3 Comment gérer les effets secondaires ?

C'est l'une des questions les plus sensibles : qu'il s'agisse de filtrer le rayonnement solaire ou d'absorber le CO₂, il y aura certainement des régions qui sortiront perdantes. La captation massive de CO₂ nécessitera sans doute l'ouverture d'énormes mines,

ou la création de forêts sur des pans entiers de territoire au détriment des cultures ; et la manipulation solaire pourrait assécher ou noyer certaines zones du globe. Que faudra-t-il indemniser ? Et qui paiera ? Les pays qui ont, historiquement, émis le plus

de CO₂ ? À ce jour, aucun outil juridique ne prévoit de compensations financières, pas même la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de 1979. Surtout, les scientifiques sont fondamentalement incapables de dire si telle

sécheresse ou telle tempête peut être attribuée à une opération de géo-ingénierie ou à la variabilité naturelle du climat – on peut seulement avancer des probabilités dans ce système très chaotique. Une incertitude qui pourrait être source de conflits majeurs.



4 La géo-ingénierie peut-elle devenir une arme ?

Difficile de ne pas s'interroger au regard de l'histoire... Pendant la guerre froide, les deux blocs n'avaient en effet pas hésité à développer des programmes militaires de modification de la météo par l'ensemencement des nuages, à l'image de l'opération américaine Popeye, qui visait à allonger la durée de la mousson durant la guerre du Vietnam. Depuis, un traité international (Enmod), bannissant les modifications de l'environnement à des fins hostiles, est entré en vigueur. Reste à évaluer la force de cet instrument juridique – ratifié par seulement 76 États sur 197, mais pas la France... Car le potentiel offen-

sif des manipulations solaires est immense : on sait, par exemple, qu'injecter des aérosols dans la stratosphère de l'hémisphère Sud permettait d'augmenter la fréquence des ouragans dans l'Atlantique Nord ; ou qu'il suffit d'éclaircir les nuages au-dessus de l'océan pour faire pleuvoir sur la côte voisine... Dans un autre style, des chercheurs d'Harvard ont envisagé des méthodes permettant de s'opposer à l'injection sauvage d'aérosols en émettant du difluorométhane, une molécule à très fort effet de serre. L'esquisse d'une "dissuasion climatique", après celle de la bombe atomique ?

5 Pourra-t-on arrêter ces manipulations sans risque ?

Pas certain... Tous les modèles de manipulation solaire montrent un risque de "choc terminal" si les injections d'aérosols étaient subitement interrompues : plusieurs décennies de réchauffement masquées se manifesteraient alors en quelques années, la température mondiale grimant à des vitesses inédites. Selon une étude parue cet été, les espèces devraient alors migrer au moins 4 fois plus vite qu'aujourd'hui. "On pourrait éviter ce phénomène en réduisant progressivement les injections sur plusieurs années ou décennies", soutient Peter Irvine (Harvard), qui insiste aussi sur la nécessité d'infrastructures de secours en cas de destruction lors d'un conflit ou d'une catastrophe naturelle. Une nouvelle illustration selon Janos Pasztor, que "la géo-ingénierie exigerait un niveau de coopération inédit dans l'histoire de l'humanité".



À lire : *Les Apprentis sorciers du climat, Raisons et déraisons de la géo-ingénierie*, par Clive Hamilton (Seuil)

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

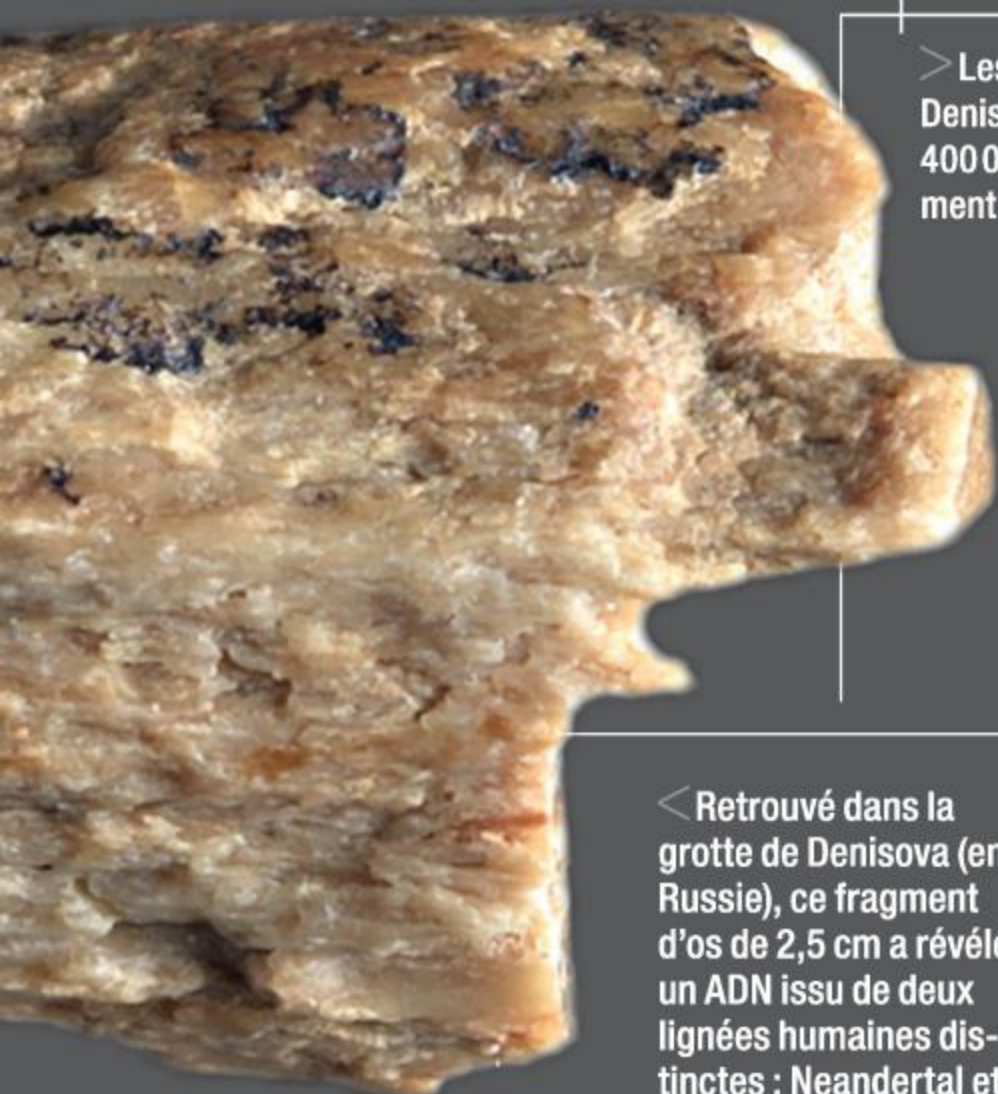


Denny

L'enfant miraculeux de la Préhistoire

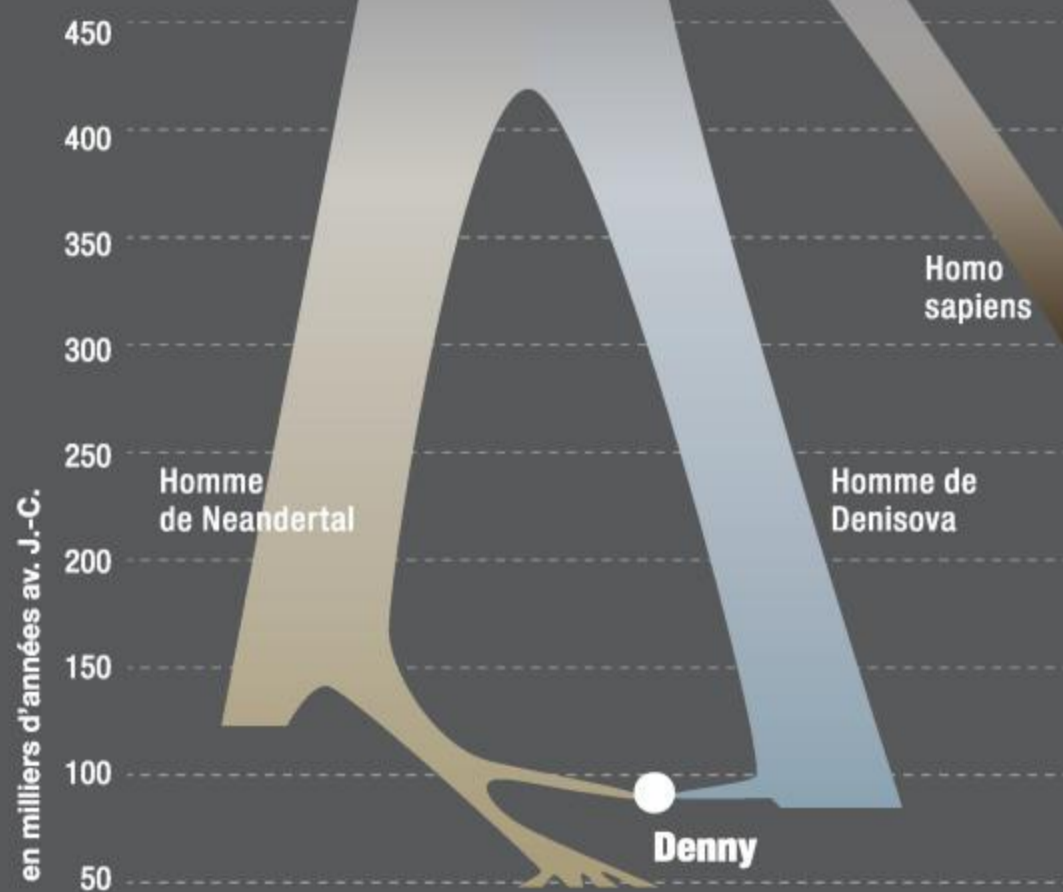
C'est l'os d'une jeune femme vieille de quelque 90 000 ans. Mais cet individu est unique : les analyses génétiques ont établi que sa mère était néandertalienne et son père un homme de Denisova. Elle est le fruit de deux lignées humaines distinctes ! La toute première métisse jamais découverte. Un miracle, selon **Thomas Cavallé-Fol**.

L'os qui cache un amour interespèces



> Les branches de Neandertal et Denisova, séparées il y a plus de 400 000 ans, ont évolué différemment avant de se réunir...

< Retrouvé dans la grotte de Denisova (en Russie), ce fragment d'os de 2,5 cm a révélé un ADN issu de deux lignées humaines distinctes : Neandertal et Denisova. Du jamais vu.



Regardez ce minuscule fossile d'os humain de 2,5 cm. Il ne ressemble pas à grand-chose, il est même tellement abîmé qu'on ne sait pas s'il provient d'un fémur, d'un humérus ou d'un autre os encore. Et pourtant, ce petit bout de squelette raconte l'un des plus beaux événements de l'histoire de l'humanité. Jamais on n'en a trouvé de tel, et cela n'arrivera peut-être plus.

Mais reprenons au début. Ce fossile, découvert dans une grotte de Sibérie, appartenait à une femme, aujourd'hui surnommée Denny, et vouée désormais à la célébrité. Datation au carbone 14 et analyses génétiques révèlent qu'elle y vécut il y a près de 90 000 ans, et avait au moins 13 ans lors de son décès, ou peut-être beaucoup plus à en croire l'épaisseur corticale de cet os.

Pour n'importe quel autre fossile comme celui-ci, sans aucun intérêt anatomique, la recherche se serait arrêtée là : datation, classement dans telle ou telle espèce humaine si ADN il y a, et puis basta, on oublie.

Sauf que Denny ne peut pas être classée. Elle est unique. Et sa découverte est probablement l'un des plus grands coups de chance de la paléanthropologie. "C'est le premier humain hybride

jamais retrouvé", souffle la chercheuse en anthropologie évolutive Viviane Slon, de l'institut Max-Planck de Leipzig, qui en a révélé le secret.

Hybride? Denny est le fruit d'amours plus que shakespeariennes. Elle fut l'enfant de deux humains opposés, non de par leur clan, leur religion ou leur couleur de peau, mais de par leur espèce même. Des Roméo et Juliette par nature et non par culture! Car sa mère était néandertalienne, tandis que son père était denisovien. Soit deux lignées d'*Homo* totalement différentes! Ce qui fait de Denny l'incarnation même des échanges qu'entretenaient les humains ancestraux des différentes branches de la généalogie humaine, en

dépit de leurs indéniables différences.

Il y a 90 000 ans, quand Denny est née, au moins quatre espèces appartenant au genre *Homo* peuplaient le monde : Neandertal, Denisova, Florès et *Sapiens*. Et si les scientifiques

Repères

Située en Sibérie, la grotte où Denny a été retrouvée a abrité 3 espèces humaines : Neandertal, *Sapiens* et Denisova, entre 120 000 et 30 000 ans avant aujourd'hui.

→ débattent sur l'usage du mot "espèce" pour les différencier, leurs différences sont bien réelles : elles se lisent dans leurs anatomies (*Sapiens* est le seul à posséder un menton) et, bien sûr, dans leur ADN. Depuis dix ans, les très nombreuses analyses génétiques ont montré que ces différentes lignées se sont séparées il y a des centaines de milliers d'années, chacune évoluant de façon isolée, dans des zones géographiques différentes.

UN VRAI COUP DE CHANCE

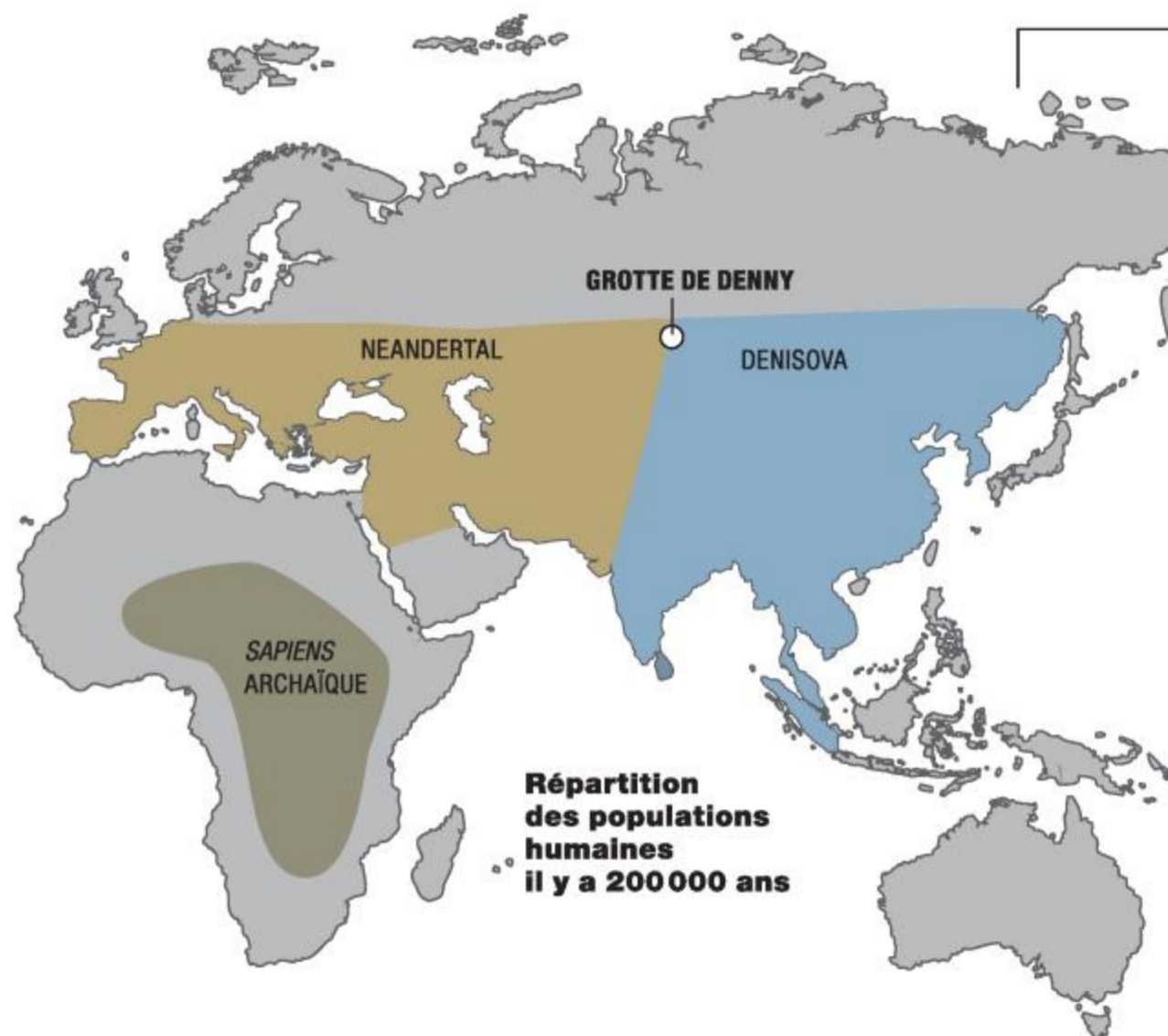
Ce qui ne les a pas empêchées de se rencontrer, de se faire la guerre, de commercer et, parfois plus, si affinités... La preuve dans nos gènes : les Européens actuels portent par exemple en eux de 1,5 à 4 % d'ADN néandertalien, tandis que les populations d'Asie de l'Est et d'Océanie en possèdent une proportion comparable de denisovien. Sauf que, malgré les quelques centaines de milliers d'années de cohabitation, les heureux événements devaient rester relativement rares : *"Sinon les différents groupes se seraient simplement fondus les uns dans les autres, explique Antoine Balzeau, chercheur en paléanthropologie au CNRS et musée de l'Homme. Et la majorité des échanges devaient se produire dans certaines zones frontières entre les différents groupes, comme celle dans laquelle se situe la grotte où le fossile a été retrouvé."*

On a déjà vu des cas d'hybridation chez les animaux. Sous la pression du réchauffement, apparaissent aujourd'hui des pizzlys, ou grolars, croisements d'ours blanc et de grizzly, dont les zones de répartition commencent à se chevaucher.

Espèce ou pas... le casse-tête

Doit-on parler d'espèce ou de sous-espèce pour différencier Neandertal, Denisova et Sapiens ? "Si on s'en tient à la seule définition biologique, deux individus font partie d'une même espèce s'ils peuvent avoir une descendance fertile. Ces groupes seraient donc plutôt des sous-espèces", pointe Viviane Slon (institut Max-Planck). Dans ce cas, tigre et lion le serait aussi, vu que le tigrion femelle peut se reproduire. "Mais des critères anatomiques et de répartition sont aussi utilisés, tempère Antoine Balzeau (musée de l'Homme). Les traces d'hybridation que nous trouvons proviennent seulement de celles qui ont réussi. Et les recherches tendent à montrer que Neandertal et Sapiens avaient du mal à se reproduire."

Le débat sur la diversité du genre *Homo* n'est pas clos.



Comme eux, Denny n'est pas une espèce nouvelle, mais la fusion de deux. Une rareté.

Et tomber sur son fossile fut plus miraculeux encore. *"À ce jour, 23 individus seulement de plus de 40 000 ans ont délivré assez d'ADN nucléaire pour être attribués à un groupe humain particulier. Trouver la fille d'un denisovien et d'une néandertalienne est donc incroyable !"* s'enthousiasme le généticien de l'évolution Stéphane Peyrégne, de l'institut Max-Planck, qui en a décrypté le génome. *"La probabilité est en effet infinitésimale"*, confirme Antoine Balzeau. Reste que l'impossible s'est produit.

Découvert en 2012 dans la grotte de Denisova, dans les monts de l'Altaï, en Russie, cet os n'est d'abord pas jugé assez spectaculaire pour intéresser les chercheurs. *"On ne savait même pas si ce fossile était humain, raconte Viviane Slon. Il a donc été envoyé aux États-Unis avec quantité d'autres fragments pour en tester les protéines et en déterminer l'espèce."* Le résultat est sans appel : ce petit bout d'os est bien humain, et son ADN mitochondrial (transmis par la mère) est même néandertalien. De quoi approfondir l'étude, séquencer son ADN malgré certaines dégradations dues au temps et en déterminer le sexe : Denny est une fille, elle ne

Un génome moitié néandertalien moitié denisovien

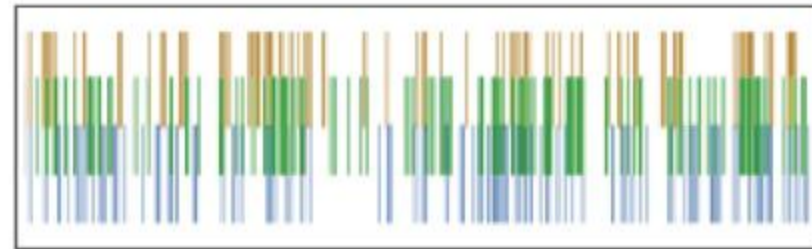
Sur chacun de ses 23 chromosomes, Denny porte des mutations néandertaliennes (en marron) et denisoviennes (en bleu). Et les deux versions ont même majoritairement pu être récoltées (en vert). Denny est donc un hybride de 1^{re} génération. Un métissage rendu possible par les migrations de ses ancêtres néandertaliens, dont celle, il y a 120 000 ans, entre l'Europe et la Sibérie.



Source: *Nature*, 2018

38,6%

des brins d'ADN portent les mutations néandertaliennes maternelles



42,3%

des brins d'ADN portent les mutations du génome denisovien paternel

possède pas de chromosome Y. Puis son génome est ensuite comparé à ceux d'un néandertalien et d'un denisovien de référence, en des positions bien connues pour être complètement différentes selon l'espèce... Et c'est le choc.

UNE PARFAITE MÉTISSE

“Je n'en croyais pas mes yeux, confie Viviane Slon, nous avons refait plusieurs fois les tests pour être sûrs.” L'ADN de Denny porte, en proportions quasi-égales, des allèles, c'est-à-dire des versions d'un gène, correspondant au génome d'un denisovien (42,3%) et d'un néandertalien (38,6%). *“Les deux groupes sont donc forcément présents chez ses ascendants dans les mêmes proportions, explique la chercheuse. Mais il restait à déterminer si Denny était vraiment la première génération issue de ce croisement. Elle pouvait être, par exemple, la fille d'individus qui étaient, eux, la première génération!”*

Pour trancher, les généticiens disposent d'un test statistique simple et efficace. Il suffit de cibler les très nombreux endroits du génome qui diffèrent chez néandertaliens et denisoviens puis, pour chacun d'entre eux, de comparer deux brins d'ADN tirés au hasard parmi ceux récoltés. D'après les probabilités issues des lois de la

génétique, il y a 50% de chances que les deux brins tirés soient identiques si l'individu est un croisement de première génération, et 75% s'il avait lui-même des parents de première génération. Les 56,3% obtenus sur Denny ne laissent pas place au doute: elle est la fille directe de ces parents inattendus! Une parfaite métisse intéressante de première génération.

Et ce n'est pas tout. Son génome néandertalien est plus étroitement lié à celui d'un homme de Neandertal vieux de 50 000 ans découvert en Croatie, à quelque 5 000 km, qu'à celui d'un autre de 120 000 ans retrouvé dans la même grotte! Ce qui révèle l'ampleur de leurs migrations. Plus merveilleux encore, son père denisovien possédait aussi cinq petits brins d'ADN néandertalien. Ce qui signifie que Denny n'était pas la première: 300 à 600 générations avant elle, un ancêtre hybride avait vu le jour. *“L'histoire des anciennes populations est bien plus complexe que prévu, commente Antoine Balzeau. Les gènes racontent une version différente de celles des fossiles.”*

Et la grotte de Denisova n'a sans doute pas livré tous ses secrets. *“Elle promet certainement d'autres surprises”,* assure Stéphane Peyrégne. Plus surprenantes que Denny? On peut toujours rêver...



À lire : les études citées dans l'article.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

PARTICULES DE MATIÈRE NOIRE

7 NOUVELLES CANDIDATES POUR LE WIMP

Depuis quarante ans, le Wimp était le modèle de particules favori des physiciens pour incarner la si énigmatique matière noire. Or, malgré tous les efforts, il reste introuvable. Un constat d'échec qui pousse aujourd'hui les spécialistes à chercher ailleurs. Et justement, sept particules postulent au titre. **Benoît Rey** a estimé leurs chances.



Même s'il n'est pas encore vaincu, il est en mauvaise posture... Après quarante ans de domination, le Wimp commence à s'essouffler, et ses concurrents le rattrapent. Le Wimp? C'est l'acronyme anglais pour "Weakly Interacting Massive Particles", pouvant se traduire par "particules massives interagissant faiblement". Jusqu'ici, c'était le modèle favori des physiciens pour expliquer l'insaisissable matière noire, dont on ne sait toujours à peu près rien. Excepté qu'elle est sensible à la gravitation, puisque les astronomes l'ont découverte dès les années 1930 en observant son influence sur le comportement des galaxies. Et totalement perméable à la lumière, donc à l'électromagnétisme. D'où le qualificatif "noire" qui, en passant, devrait plutôt être "transparente". Les théoriciens avaient trouvé le candidat idéal,

GETTY IMAGES

inventé en 1977 par Steven Weinberg (Nobel de physique 1979) : le Wimp, donc. "Son existence découle naturellement de la supersymétrie, une théorie populaire à l'époque, selon laquelle chaque particule connue est censée avoir un partenaire semblable en tous points, sauf deux caractéristiques : sa masse et son spin, explique Marco Cirelli, spécialiste du

Repères

L'Univers, c'est 16 % de matière ordinaire (étoiles, planètes, nous...) et 84 % de matière noire. Elle nimbe, par exemple, notre galaxie d'un halo qui pèse 1 000 milliards de fois la masse du Soleil.

Wimp au CEA. Et les calculs indiquaient que les Wimps de masse égale à 100 GeV (10^{11} eV : cent fois celle du proton) auraient été produits dans l'univers primordial, pile en bonne quantité, →

CHRONOLOGIE

1933

Fritz Zwicky mesure que les amas de galaxies sont 400 fois plus massifs que ne l'indique leur quantité d'étoiles.

1974

Les galaxies tournent trop vite pour maintenir leur cohésion. Elles semblent être entourées d'un halo d'une matière invisible.

1977

Les théoriciens imaginent des particules exotiques qui pourraient représenter la matière manquante. Parmi elles, le Wimp.

1980

Observant des galaxies spirales, Vera Rubin confirme l'existence d'une masse invisible. On mise sur le Wimp.

2018

Après des décennies de recherches intensives, le Wimp est introuvable. On cherche d'autres candidats...

→ pour expliquer le contenu en matière noire. C'est ce que les physiciens appellent le "*miracle du Wimp*".

Mais nous n'avons toujours pas aujourd'hui la moindre trace de ces particules supersymétriques... ni du Wimp. Ce n'est pourtant pas faute de l'avoir cherché ! D'énormes et coûteux détecteurs souterrains ont été construits pour cela : LUX aux États-Unis, Panda XII en Chine, Xenon 1T en Italie... Ces derniers mois, tous ont annoncé avoir fait chou blanc.

DU MIRACLE AU MIRAGE DU WIMP

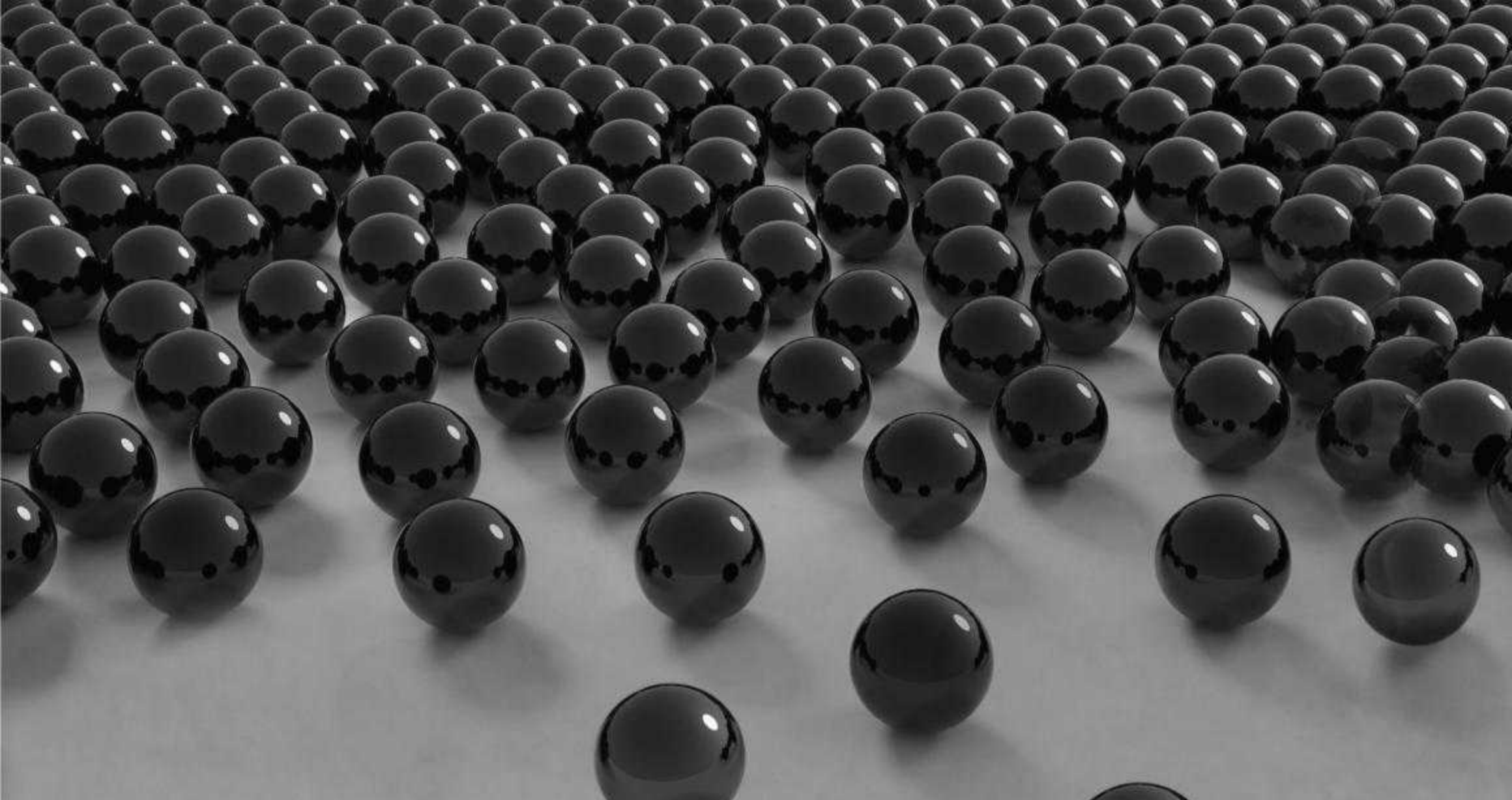
On a même essayé d'en fabriquer ! La physique est ainsi faite que la masse et l'énergie sont deux facettes d'une même entité : la matière. En fracassant des particules entre elles, on en produit de nouvelles, d'autant plus massives que la vitesse initiale des particules est élevée. Et c'est notamment à cela que sert le Grand collisionneur de hadrons (LHC), en Suisse : atteindre la puissance suffisante pour produire des Wimps. Mais pas un n'en est sorti. "*Le LHC a produit le boson de Higgs, à 125 GeV. Depuis, il est même monté à 700 GeV, sans trouver la moindre particule nouvelle à 100 GeV...*", observe Françoise Combes, de l'Observatoire de Paris.

Les spécialistes se sont aussi tournés vers le ciel, traquant la lumière produite dans l'espace lorsqu'un Wimp en rencontre un autre : toujours rien. En mai dernier, les opérateurs de Hess, un réseau de télescopes gamma en Namibie, n'ont pu que constater leur échec. "*Le Wimp que tout le monde espérait trouver est exclu, mais tout n'est pas perdu*", conclut Marco Cirelli. "*C'est vrai, ajoute Martin Sloth, de l'université de Copenhague, mais le miracle du Wimp commence à ressembler à un mirage...*" Et si la matière noire n'existait pas ? Si les lois de la physique

étaient incorrectes et donnaient l'illusion d'une matière invisible qui perturbe la rotation des galaxies... De nombreux essais théoriques, toujours en cours, vont dans ce sens, mais aucun ne parvient à réfuter les observations des astrophysiciens accumulées au fil des ans. En particulier, celle du fond diffus cosmologique, cette première lumière de l'Univers qui témoigne de son état 380 000 ans après le big bang : ses fluctuations ne peuvent s'expliquer que si une matière supplémentaire existait à cette époque, cinq fois plus abondante que la matière ordinaire...

Ces observations sont autant de contraintes pour les théoriciens qui imaginent de nouveaux modèles de matière noire. À savoir : elle ne doit pas être trop chaude, sinon elle ne pourrait pas s'agglomérer ; elle doit être stable sur le temps de l'Univers, car elle était là depuis le début ; et elle doit être très condensée au centre des galaxies, et de moins en moins à mesure qu'on s'en éloigne... "*Mais ces contraintes laissent encore de très nombreuses fenêtres*, prévient Marco Cirelli. "*J'ai calculé qu'entre le modèle le plus léger – l'axion –, et le plus lourd – les trous noirs primordiaux –, il y a 92 ordres de grandeur de masse !*" C'est large quand on sait qu'entre la masse d'un moustique et celle de la Terre, il n'y en a que 30 !

Actuellement, chacun y va de sa propre théorie. Martin Sloth compare la situation actuelle à un tournoi de Wimbledon, sans Federer : "*Tout le monde vient s'inscrire pensant que, sans le Wimp, ils ont tous leur chance.*" Parmi eux, sept modèles se distinguent : certains nouveaux, d'autres moins, repensés à la lumière des données actuelles, ou d'autres déjà en cours de test. Dans tous les cas, ces sept particules prétendent chacune au titre de Wimp, et de détenteur du secret de la matière noire.



1 L'axion : postulant ultraléger

C'est le challenger du Wimp depuis quarante ans. L'axion a une justification théorique : il a été inventé en 1977 pour résoudre un problème concernant l'interaction forte, cette force fondamentale qui lie les quarks entre eux pour former des protons et des neutrons. Et il s'agirait d'une particule électriquement neutre, qui se matérialiserait spontanément dans le vide du fait de l'existence d'un champ quantique supplémentaire. Les axions auraient ainsi été produits dans l'univers primordial, avant de s'accumuler jusqu'à former de gigantesques grumeaux : des puits gravitationnels dans lesquels la matière normale serait tombée, donnant *in fine* les galaxies que nous voyons aujourd'hui. Bref, ils feraient une matière noire idéale... si ce n'est qu'ils sont extrêmement légers, jusqu'à 10^{27} fois plus que l'électron. Ce qui signifie qu'*"il en faudrait au moins 10^{12} par cm^3 dans notre région de la Voie lactée!"* estime Vivian Poulin, spécialiste des axions à l'université Johns-Hopkins, aux États-Unis. Un chiffre faramineux... De plus, ils sont compliqués à détecter : le plus puissant des accélérateurs, le LHC, est difficilement capable d'en produire. Et il a le mauvais goût de ne pas être sa propre antiparticule : il n'émet donc aucune lumière en s'annihilant, et il est donc vain de le chercher dans le ciel. De nombreuses expériences ont toutefois été imaginées, financées et effectuées, qui reposent sur le fait que des rayons lumineux qui traversent un champ magnétique pourraient spontanément se transformer en axion : une disparition ou apparition soudaine de photons gamma pourrait signer sa présence. Ainsi, l'expérience ADMX, aux États-Unis, vient juste d'atteindre la sensibilité nécessaire à la détection d'un tel signal.

Axion

Masse
de 10^{-22} eV à 1 eV*

Invention
1977 (Roberto Peccei
et Helen Quinn)

* L'électronvolt (eV) est une unité d'énergie très faible (elle correspond à $1,6 \cdot 10^{-19}$ joules)... mais en vertu de l'équation d'Einstein $E = mc^2$, elle qualifie aussi la masse.

2 Le photon noir : un super médiateur

C'est dans les années 1970 qu'est né ce concept étrange. Une particule presque identique au photon, à ceci près qu'au lieu de transporter de la lumière, elle transporterait une cinquième force fondamentale de la nature : un photon noir qui pourrait être la matière noire. Pas directement : s'il a bien une masse, à la différence du photon standard, elle est trop faible pour peser aussi lourd dans l'Univers sans qu'on l'ait détectée. Mais en modifiant le comportement des autres particules. *"Le photon noir pourrait être une sorte de médiateur, il pourrait exister en plus d'une autre particule de matière noire"*, précise Venelin Kozhuharov, du Cern. Une expérience nommée PADME a débuté en septembre en Italie pour le traquer.

Photon noir

Masse
10⁶ à 10¹⁰ eV

Invention
1982 (Lev Borissovitch Okun, Bob Holdom et Pierre Fayet)

4 La particule superfluide : étrange comme il faut

Le pouvoir de la matière noire pourrait se cacher dans son état, plus que dans la nature de la particule elle-même. Un état ni solide, ni liquide, ni gazeux, mais... superfluide. La matière noire qui flotte dans l'espace entre les amas de galaxies se condenserait en leurs cœurs. Ce qui expliquerait son comportement différent aux deux échelles. Cette idée est venue à un physicien américain, Justin Khoury, il y a seulement trois ans, en discutant avec ses collègues spécialistes de la matière condensée. Car sur Terre, lorsqu'on

3 Le neutrino : pile la bonne taille

Après l'axion, il est historiquement l'autre favori, pouvant lui aussi résoudre d'un coup plusieurs problèmes de la physique. Il est inspiré du neutrino, la particule la plus légère que l'on connaisse, mais serait légèrement plus massif, et totalement insensible à l'interaction faible, d'où son nom : neutrino stérile. *"C'est même pourquoi on ne l'a jamais intégré au modèle standard, explique Julien Lesgourgues, de l'université d'Aix-la-Chapelle. Une particule qui n'interagit avec rien, c'est comme si elle n'existait pas, on n'en avait pas besoin."* Sauf que dans les années 1970, on réalise que son existence pourrait expliquer la naissance de la matière au début de l'Univers... et constituer la matière noire. Du moins, s'il est présent en quantité suffisante et s'il n'est pas trop léger – sinon les lois de la physique lui imposeraient une vitesse moyenne proche de celle de la lumière et il ne pourrait pas se concentrer en ces halos que l'on observe autour des galaxies. Mais il ne doit pas non plus être trop lourd, sinon on aurait déjà dû voir les rayons X produits par sa désintégration. *"Le neutrino stérile est aujourd'hui pris en tenaille entre ces deux non-observations, ajoute le physicien. Il est envisageable qu'il incarne la matière noire s'il a une masse entre 1 000 et 10 000 eV."* Une fenêtre restreinte qui a au moins un avantage : faciliter les recherches. On devrait être bientôt fixé sur son existence.

Neutrino stérile

Masse
1 000 à 10 000 eV

Invention
1967 (Bruno Pontecorvo)

refroidit certains semi-conducteurs près du zéro absolu, les paires d'électrons qu'ils contiennent s'assemblent en grand nombre pour ne faire qu'un. De la même manière, au sein des galaxies, les particules de matière noire pourraient perdre leur individualité, se combinant en un unique objet quantique macroscopique. Les ondes qui s'y propagent sans aucune dispersion d'énergie interagiraient avec la matière ordinaire, et lui dicteraient son comportement particulier... *"Dans la Voie lactée, cet état superfluide s'étalerait jusqu'à 200 000 années-lumière*

du centre. Or, nous sommes à 27 000 années-lumière, nous serions donc baignés de cet état superfluide", estime Benoît Famaey, de l'Observatoire de Strasbourg. Au-delà, la matière noire, moins dense, perdrait sa superfluidité. *"C'est à la transition entre les deux qu'on pourrait trouver une signature observationnelle qui confirmerait ou non ce modèle."* Son idée serait d'observer les petites galaxies satellites lorsqu'elles traversent cette frontière. *"Je pense qu'un certain nombre de personnes attendent que ce travail soit fait pour se convaincre de creuser davantage."*

Matière noire superfluide

Masse
1 eV

Invention
1983 (Mike Turner),
2015 (Justin Khoury)

5 La particule plankienne : la plus noire de toutes

Matière noire interactive

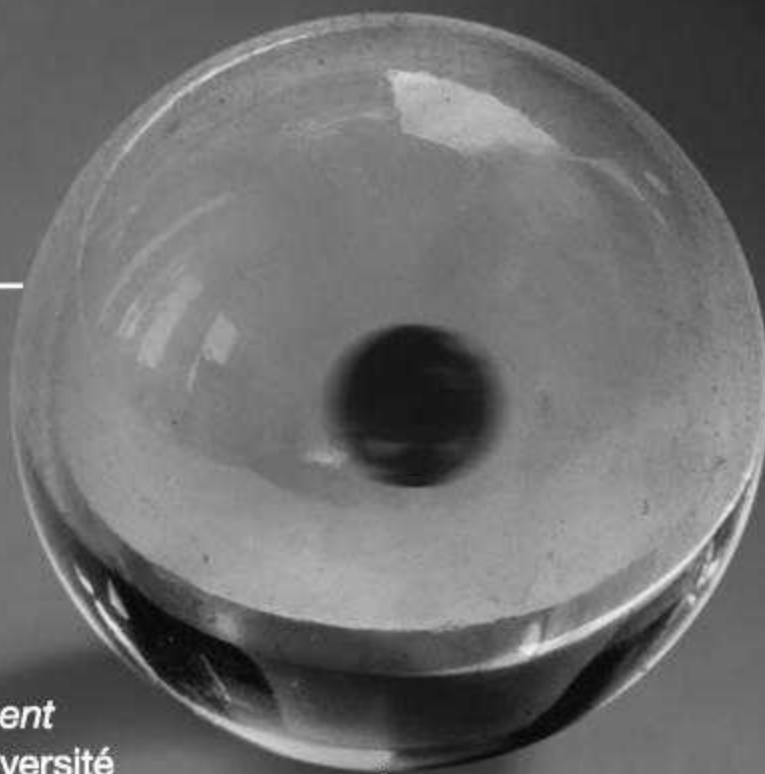
Masse
10²⁶ eV

Invention
2015 (Mathias Garry,
Martin Sloth)

Elle est la plus massive des particules de matière noire. C'est aussi la plus... noire. Car ses inventeurs sont partis du postulat qu'elle n'interagit avec la matière ordinaire qu'exclusivement via la gravitation. Sa masse est monstrueuse : 0,2 microgramme... soit un dixième de celle d'un petit grain de sable! *"C'est seulement un centième de la masse au-delà de laquelle une particule se transformerait spontanément en trou noir"*, décrit son co-inventeur Martin Sloth. Elle serait née dans un univers primordial beaucoup plus chaud que prévu par la théorie standard, ce qui aurait engendré des ondes gravitationnelles caractéristiques... détectables. Mais il faudrait des instruments 100 millions de fois plus sensibles.

6 Le trou noir : mieux qu'une particule

Et si la matière noire n'était pas faite de particules, mais de trous noirs? Non pas ceux qui naissent d'explosions d'étoiles, ni ceux, supermassifs, qui règnent au centre des galaxies – ils n'étaient pas formés au début de l'Univers. D'autres, nés moins d'une milliseconde après le big bang, et qui sont toujours là, autour de nous. *"Ils auraient dans leur majorité une masse de l'ordre de celle du Soleil, mais pourraient atteindre cent masses solaires, voire plus"*, précise Sébastien Clesse, de l'université de Namur. Sortis du cerveau de Stephen Hawking dès 1971, ces trous noirs primordiaux semblaient avoir été éliminés en 1998 par les expériences Macho, puis Eros en 2006, qui auraient dû déceler leurs effets gravitationnels sur la lumière des étoiles. Sauf qu'en 2015, l'instrument Ligo a détecté des ondes gravitationnelles émises par la fusion de deux trous noirs de respectivement 36 et 29 fois la masse du Soleil – ce qui est trop gros pour des trous noirs stellaires, trop petit pour des supermassifs, mais pile dans les masses prédites par Hawking. Trois articles de 2016 les qualifient de trous noirs primordiaux. Pour l'instant, les spécialistes sont divisés, mais cela ne devrait pas durer. *"On ne peut pas jouer avec les paramètres autant qu'avec une particule pour échapper aux contraintes expérimentales, argumente Sébastien Clesse. Si les trous noirs primordiaux existent, les observations de ces prochaines années le montreront."*



Trou noir primordial

Masse
de 10⁻⁸ kg à
plusieurs millions
de masses solaires

Invention
1971 (Stephen Hawking,
Bernard Carr,
George Chapline)

7 Le sexaquark : tout en douceur

Tout serait tellement plus simple si le sexaquark existait! C'est le seul modèle de matière noire qui ne requiert aucune physique au-delà de celle que l'on connaît déjà. Les quarks sont les constituants bien connus des protons et des neutrons qui forment les noyaux des atomes. Il suffirait qu'au lieu de s'assembler par trois, ils s'agrègent par six pour former une particule qui colle aux caractéristiques de la matière noire. Cette vieille idée fut abandonnée dans les années 1980 : la cohésion du sexaquark paraissait si fragile qu'on prédisait qu'il se désintégrerait en un dix-millième de microseconde, maximum. Or, pour jouer son rôle gravitationnel, la matière noire doit être stable sur le long terme. Cette théorie refait surface via la théoricienne Glennys Farrar, de l'université de New York. *"L'idée de réexaminer d'anciens modèles m'est venue du constat qu'en trente ans de recherche intensive, personne n'a jamais trouvé la moindre trace de nouvelle particule"*, raconte-t-elle. Et c'est en 2016 qu'elle réalise que le sexaquark n'est pas nécessairement instable! Il suffit qu'il soit un peu plus léger – 1,8 au lieu de 2 GeV – de sorte que la liaison entre les quarks soit assez robuste pour que le sexaquark perdure sur des milliards d'années. Reste à approfondir le modèle encore à l'état d'ébauche...

Sexaquark

Masse
1,8.10⁹ eV

Invention
1984 (Robert Jaffe)

1 | **Le chêne est une mosaïque génétique**

Des chercheurs suisses et français viennent de révéler que cet arbre est composé d'une fédération de cellules mutantes : jusqu'à 17 lignées cellulaires distinctes chez un spécimen de 200 ans, selon les premiers ; et jusqu'à 2 fois plus pour les Français ayant étudié un chêne du même âge.

2 | **Chaque branche développe son propre génome**

Chaque branche est le fruit de cellules souches filles des premières cellules du gland, mais indépendantes les unes des autres. Le rayonnement UV ou des erreurs de réplication de l'ADN ont pu modifier leur génome.

3 | **Le gland hérite de la mutation et la transmet**

Les mutations présentes dans les cellules souches de la branche peuvent aussi passer chez le gland. À la différence des animaux, l'arbre transmet donc à sa descendance les caractères acquis par l'expérience.

Chaque arbre cache une forêt!

Prenez n'importe quelle branche d'un arbre : ses cellules n'ont pas le même génome que celui des autres branches. Autrement dit, un arbre cache plein d'autres arbres. Un prodige de l'évolution qui fait des végétaux une exception dans l'ordre du vivant. **Jean-Baptiste Veyrieras** retrace cette découverte à partir... d'un simple gland.

Les plantes sont des extraterrestres qui sont arrivées sur Terre longtemps avant nous." Il y a quelques mois, dans le cadre d'un entretien sur la "cognition végétale", le botaniste Francis Hallé nous confiait sa fascination pour l'altérité radicale que représente le règne végétal par rapport au règne animal (lire *S&V* n°1203, p. 44). Depuis, deux études sur le chêne publiées coup sur coup viennent d'en faire la plus belle démonstration. Elles apportent en effet la preuve incontestable d'une hypothèse posée dès 1999 par le botaniste français dans son ouvrage *Éloge de la plante*, mais qui "nécessitait des capacités de séquençage de l'ADN végétal alors impossibles à mobiliser", souligne Peri Tobias, de l'université de Sydney.

Ce que démontrent ces deux études ? Simple- ment que sur un même chêne, le génome des glands varie selon la branche sur laquelle ils se trouvent : comparé à celui du gland originel,

leur génome a subi plus ou moins de mutations. Une sacrée différence avec nous, les animaux !

Alors que nous devons passer par la reproduction à travers les générations pour déployer des traits d'adaptation dûment sélectionnés, le chêne, lui, fait littéralement corps avec les ressorts de l'évolution. Il n'attend pas de produire des descendants pour innover sur le plan génétique, il le fait pendant sa croissance. À mesure que ses branches s'allongent et se ramifient,

Repères

Le caractère mosaïque des arbres est connu empiriquement des horticulteurs qui sélectionnent leurs plus heureuses mutations. Ainsi le brugnion est-il né de la branche mutante d'un pêcher.

son génome se diversifie, offrant autant de prises nouvelles à la sélection naturelle. Comme si l'évolution de Darwin murmurait aux oreilles des cellules du moindre bourgeon, de la

→ moindre branche, ou lors de la formation d'une nouvelle fleur qui deviendra graine...

Alors que certains botanistes pensaient encore qu'une telle faculté était réservée à des espèces tropicales particulièrement exotiques, tout indique qu'il en va sûrement de même pour les pins, les oliviers noueux, les séquoias vertigineux et les hêtres élancés, voire pour toutes les plantes pérennes.

CHAQUE BRANCHE PORTE DARWIN À CALIFOURCHON

“Ce mécanisme évolutif est unique en son genre, s’enthousiasme Christophe Plomion, généticien à l’Inra-Campus Forêt-Bois de Cestas-Pierroton (Gironde), auteur de l’une de ces deux études. Il permet à l’arbre d’accumuler des mutations au sein de son génome tout au long de son existence.” Or, dans le droit fil de la logique darwinienne, certaines de ces mutations peuvent parfois bien faire les choses. Un eucalyptus du sud-est de l’Australie, *Eucalyptus melliodora*, l’illustre de façon spectaculaire. Alors que tous ses comparses du voisinage sont ravagés par une invasion de scarabées, et qu’il est lui-même la proie de ces dévoreurs de feuilles, l’une de ses branches principales maintient vaillamment son feuillage intact. D’où vient un tel prodige ? Les chercheurs ont découvert que les feuilles de cette branche produisent, en quantité bien supérieure à celles du reste de l’arbre, une huile dont l’odeur repousse les scarabées. *“Une mutation dans un gène, apparue dès la formation de cette branche, a exacerbé la synthèse de ces composés volatils”*, avance Peri Tobias.

Comment nommer cette assemblée de milliards de milliards de cellules qui, de la racine à la pointe, ont des génomes sensiblement différents ? Des “chimères génétiques” ? *“Je n’aime pas vraiment ce mot, avoue Francis Hallé, car il suggère une aberration génétique sur le modèle de la chimère animale. Je préfère pour ma part le concept d’‘arbre-mosaïque’. C’est précisément la coexistence possible de formes mutantes au sein d’un même organisme qui distingue plantes et animaux, autrement dit êtres fixes et êtres mobiles.”*

Vu ainsi, l’arbre est, à lui tout seul, un arbre... phylogénétique. Il est le processus évolutif incarné. Il n’arrête pas d’engendrer une véritable forêt en son sein. Chacune de

Le moindre bourgeon développe des mutations génétiques

1 | Le bourgeon abrite des cellules souches...

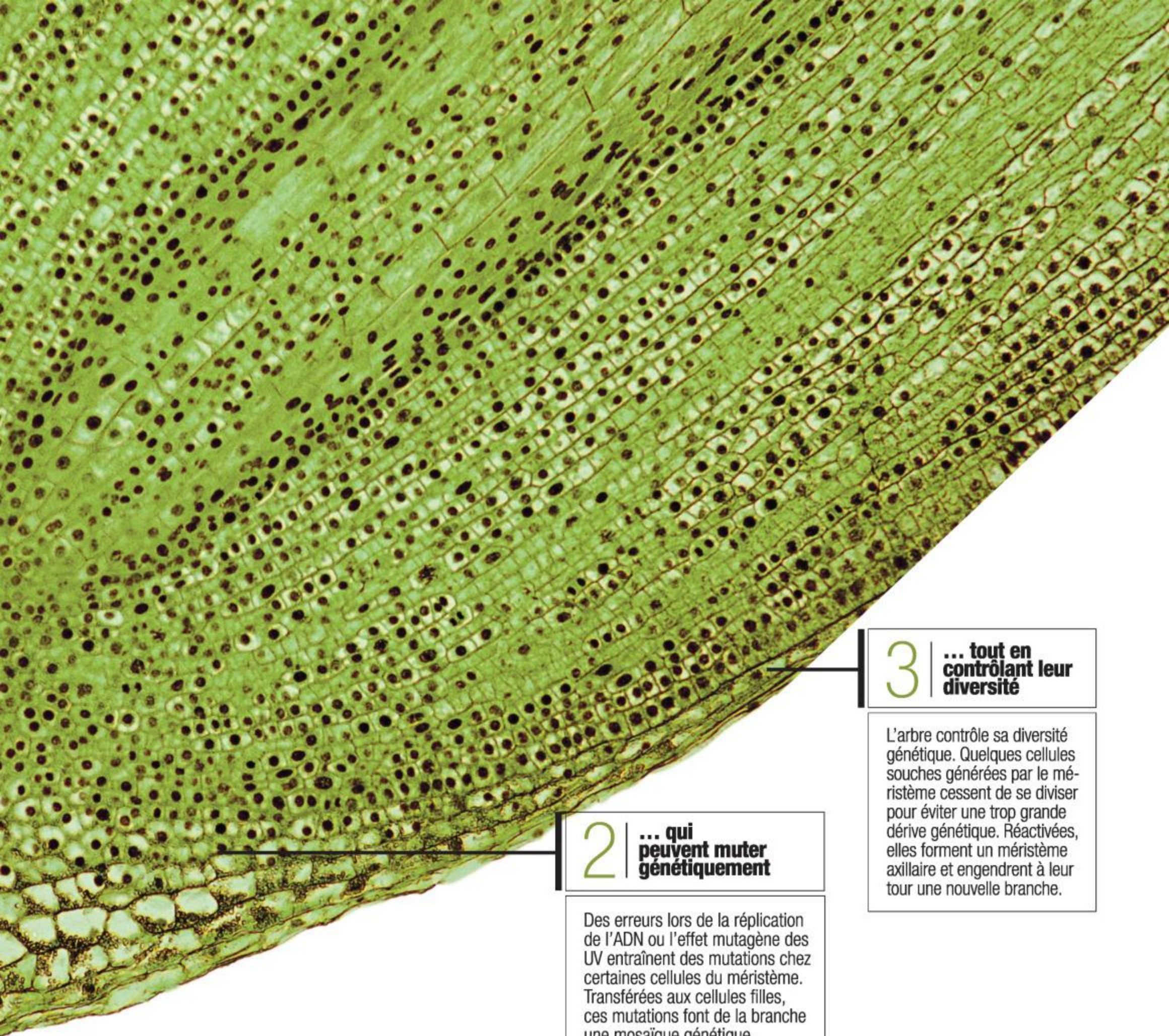
L’extrémité de la branche est formée de cellules souches qui peuvent se multiplier à l’infini : elles constituent le méristème. Ces cellules engendreront toutes celles qui formeront la nouvelle branche.

Méristème

Faits & chiffres

35 % des gènes sont dupliqués chez le chêne : 2 fois plus que chez les plantes annuelles. Impliqués dans la défense contre les pathogènes, ils accumulent 2 fois plus vite les mutations pour diversifier les moyens de résistance.

ses branches porte, pour ainsi dire, Darwin à califourchon : *“L’unité de sélection naturelle n’est pas l’individu-arbre mais chacune de ses branches, et plus précisément chacun de ses méristèmes”*, résume Christophe Plomion. Car c’est là, dans les méristèmes, qui forment toute la matière de l’arbre (bois, feuillage, fleurs et graines), que réside précisément le secret de cette personnalité multiple. Situés à l’extrémité des branches, souvent sous la forme de petits bourgeons, et composés de quelques dizaines ou centaines de cellules souches, ils créent sans relâche de nouvelles cellules pour étayer le bois de la branche, creuser un nouveau canal



3 ... tout en contrôlant leur diversité

L'arbre contrôle sa diversité génétique. Quelques cellules souches générées par le méristème cessent de se diviser pour éviter une trop grande dérive génétique. Réactivées, elles forment un méristème axillaire et engendrent à leur tour une nouvelle branche.

2 ... qui peuvent muter génétiquement

Des erreurs lors de la réplication de l'ADN ou l'effet mutagène des UV entraînent des mutations chez certaines cellules du méristème. Transférées aux cellules filles, ces mutations font de la branche une mosaïque génétique.

pour acheminer la sève ou former une feuille. "C'est au sein de ces méristèmes que les mutations apparaissent", précise le biologiste Cris Kuhlemeier, de l'université de Berne (Suisse). Soit du fait d'une défaillance de la machine à copier l'ADN lors des divisions cellulaires, qui produisent de nouvelles cellules; soit du fait du rayonnement ultraviolet (UV) du soleil, connu pour son effet mutagène.

Voilà d'ailleurs une différence éloquentes entre nos deux règnes: alors que nous protégeons soigneusement du rayonnement UV nos gamètes à l'intérieur de nos organes sexuels, les arbres, eux, exposent leurs méristèmes au plus

près de la lumière. Une stratégie risquée. "Si les arbres accumulaient trop de mutations au fil du temps, il y aurait un risque de dégénérescence génétique qui pourrait compromettre leur développement", explique Peri Tobias. Mais la mosaïque génétique est savamment orchestrée. L'équipe de Cris Kuhlemeier a démontré que, lorsqu'un nouveau méristème est créé, les cellules souches qui le constituent cessent rapidement de se diviser, évitant ainsi d'accumuler trop de mutations. "Ce n'est qu'une fois atteinte leur place définitive au sein de l'arbre, lorsque le nouveau méristème s'incarne enfin sous la forme d'un bourgeon et que



→ *l'arbre en donne le signal, que la division cellulaire reprend*", explique le chercheur. L'arbre contrôle donc sa propre diversité génétique!

La clé de son insolent succès évolutif est donnée par l'étude de Christophe Plomion: le séquençage de l'ADN de glands issus des branches porteuses de mutations révèle que ces dernières se retrouvent bien dans les graines. Dans le cas de notre eucalyptus envahi par les scarabées, cela signifie que toutes les graines issues de la branche résistante sont elles aussi résistantes, et donc dotées d'un net avantage adaptatif.

À la différence des animaux, les arbres peuvent donc transmettre à leur descendance

scène une girafe qui allongeait chaque année davantage le cou pour atteindre les premières feuilles d'un arbre dont la ramure s'élevait au même rythme. Selon lui, ces efforts réalisés par la lignée somatique de l'animal allaient être en partie transmis à la lignée germinale: les girafes auraient un cou plus long.

DEUX LIGNÉES CELLULAIRES DISTINCTES

Une telle idée, depuis, n'a eu de cesse d'être moquée. Car Darwin avait raison: chez tous les animaux, la séparation est stricte. Les deux lignées cellulaires se séparent dès les premières divisions de l'embryon. Autrement dit, une mu-

tation apparue au cours de notre vie dans l'un de nos organes non sexuels n'a aucune chance d'être transmise à notre descendance. Bref, nous ne transmettons que nos caractères innés – on n'a jamais vu que la pratique de la musculation chez les hommes ou les femmes engendrait des bébés particulièrement musclés!

Sauf qu'on le sait maintenant: l'arbre, lui, peut fixer dans son génome une expérience bénéfique et voir ses graines en profiter! *"À la différence des animaux, il n'y a pas chez le chêne de séparation stricte entre les cellules somatiques et germinales"*, résume Christophe Plomion. Lamarck s'était donc juste trompé de sujet: il n'aurait pas

L'impossible arbre des arbres

C'est un comble! Alors que les concepts d'arbre généalogique et d'arbre de vie servent à décrire l'évolution, ils ne conviennent pas aux arbres. Avec eux, comme avec toutes les plantes, impossible de tracer en ligne directe l'origine de leurs gènes. Ils peuvent aussi bien venir d'une autre espèce par hybridation, voire de "corps étrangers" quand la plante s'empare de bouts d'ADN issus de bactéries ou de champignons. À cela s'ajoute la possibilité de combiner plusieurs génomes en une seule cellule chez les polyploïdes. "Les plantes sont les championnes de la plasticité génomique", résume Francis Hallé. Entremêlant différents lignages, cette plasticité impose dès lors de troquer le trop sage arbre généalogique pour le plus réaliste réseau génétique.

les caractères acquis au fil de leur expérience. Voilà une arme redoutable pour des êtres rivés sur place, incapables d'échapper au feu des orages, aux insectes ravageurs, à la sécheresse d'un été impitoyable ou au poids de la neige d'un hiver rigoureux. Voilà aussi de quoi faire asseoir sur la branche, au côté de Darwin, son opposant historique: Jean-Baptiste de Lamarck.

Bien connue, l'opposition entre les deux biologistes peut se résumer à la question de savoir si, au sein d'un être vivant, la lignée germinale – qui rassemble les cellules produisant les gamètes –, est, ou non, séparée de la lignée somatique qui, elle, rassemble toutes les autres cellules. Lamarck pensait que la séparation n'était pas stricte. Il expliqua sa théorie en mettant en

dû regarder la girafe, mais l'arbre qu'elle était en train de brouter! Mais il n'est pas le seul... Comment a-t-on pu passer à côté de la logique d'un règne au succès évolutif outrageusement dominateur sur notre planète? Il fallait sûrement appartenir au règne des animaux pour ignorer à ce point le premier grand règne du vivant!

"Je me réjouis de ces très beaux résultats, qui confirment qu'il y a un gouffre entre les capacités évolutives des végétaux et les nôtres, réagit Francis Hallé. Il est étonnant qu'on ait longtemps pu imaginer qu'ils évoluaient comme nous." Maintenant que l'homme y regarde de plus près, nul doute que les plantes livreront d'autres secrets. C'est donc finalement bien sous le chêne que justice leur a été rendue.



À lire: les publications citées dans l'article, ainsi que l'incontournable *Éloge de la plante* de Francis Hallé (1999).

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

À PARTIR DU
MERCREDI 10 OCTOBRE
À 20H50

ESCAPE

21 JOURS POUR DISPARAÎTRE
PARVIENDRONT-ILS À LES RETROUVER ?



© Photo Jérôme Dominé / Abacopress
DeBonneville-Ortandini

RMC
DÉCOUVERTE

DISPONIBLE SUR LE CANAL 24



> **LE RÔLE CLÉ DE L'HYPOTHALAMUS**
Suractivés, les neurones de cette glande du cerveau produisent en grande quantité de la LH, ce qui a pour effet de diminuer la fertilité.

Trouble de la fertilité

Tout se joue bien dans la tête

Oui, mais pas comme on le croit ! Rien de psychologique ici : le principal trouble de la fertilité féminine cache en fait un dérèglement des neurones, qui engendre des réactions hormonales inappropriées. Une piste de traitement ? **Coralie Hancock** nous en dit plus.

C'est dans la tête !" Quel couple ayant des difficultés à concevoir un enfant n'a pas entendu ce poncif ? Sous-entendu : l'infertilité trouverait son origine au plus profond de notre psychisme, et serait liée au stress, à des problèmes de couple ou à des traumatismes d'enfance. Or, voici que les travaux d'une équipe de chercheurs français suggèrent que, chez certaines femmes, cette affirmation a certes un fondement scientifique... mais pas au sens psychologique, non : au sens strictement neurologique !

L'équipe de Paolo Giacobini, chercheur à l'Inserm et à l'université de Lille, s'est penchée sur le trouble de la fertilité féminine le plus courant au monde, puisque 10 à 18 % des

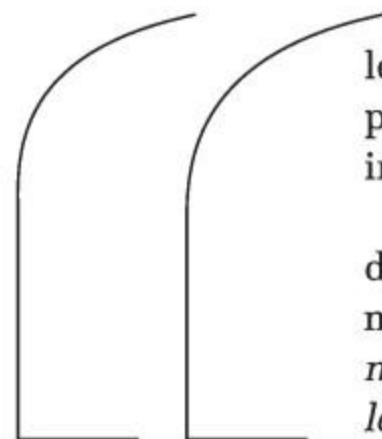
femmes seraient concernées au cours de leur vie. Appelé syndrome des ovaires polykystiques (SOPK), ce trouble perturbe très fortement le fonctionnement des ovaires, où des sortes de kystes constitués d'une multitude d'ovules immatures se forment. Au point que tomber enceinte, et mener une grossesse à son

terme, soit parfois très compliqué. Et la difficulté ne s'arrête pas là, puisque quand ce but est malgré tout atteint (avec le temps ou grâce à une aide médicale : stimulation ovarienne, fécondation *in vitro*...), la maladie

Repères

Parmi les troubles de la fertilité, le syndrome des ovaires polykystiques est le plus fréquent. L'ovulation est très sporadique, voire absente, et le risque de fausses couches plus élevé.

se transmet 7 fois sur 10 à la descendance féminine ! Or, les chercheurs ont découvert que cette maladie prend sa source au plus profond du cerveau des femmes, et ce, dès



La route est longue pour les couples ayant recours à la FIV. Nos travaux suggèrent une alternative possible !

le stade fœtal. Ce qui permet de mieux comprendre l'origine ainsi que les causes de son indésirable transmission héréditaire.

Mais comment ces scientifiques ont-ils donc eu l'idée d'aller chercher à l'intérieur de notre matière grise ? *"Nous savions que la génétique ne pouvait pas, à elle seule, expliquer la transmission de la maladie de la mère à 70 % de ses filles, indique Paolo Giacobini. Et nous savions que les femmes touchées par le syndrome ont en permanence une concentration sanguine plus élevée d'une hormone appelée AMH [hormone anti-müllérienne]. Un taux dont nous avons montré, sur 66 femmes atteintes de la maladie ayant malgré tout réussi à tomber enceintes, qu'il reste anormalement élevé lorsque la grossesse débute",* ajoute le chercheur.

Pour identifier le mécanisme de transmission de la maladie, l'équipe a donc décidé de suivre la piste de cette hormone. Ils ont pour cela injecté l'AMH à des souris en gestation, pour voir si cela entraînait des troubles de la fertilité chez leur descendance femelle. Quelques mois plus tard, les chercheurs peuvent se féliciter de leur intuition : les souris femelles nées de génitrices ayant subi une injection d'AMH durant la gestation montrent une puberté plus tardive, des cycles perturbés et donnent naissance à leur première portée plus tard, avec un nombre de

souriceaux par portée plus restreint. Confirmant ainsi qu'un taux anormalement élevé d'AMH perturbe la fertilité de la descendance femelle. Cette hormone pourrait donc bien être responsable, chez l'humain, de la transmission de la maladie.

Mais comment ? C'est ce que les chercheurs ont voulu savoir dans un deuxième temps. Pour cela, ils ont commencé par analyser les effets de l'AMH chez la femelle en gestation, et observé que des taux élevés créaient une perturbation hormonale en cascade, jusqu'à provoquer un apport excessif de testostérone, une hormone sexuelle masculine, au niveau du placenta.

Or, les scientifiques savent bien que les hormones sexuelles influencent, durant la



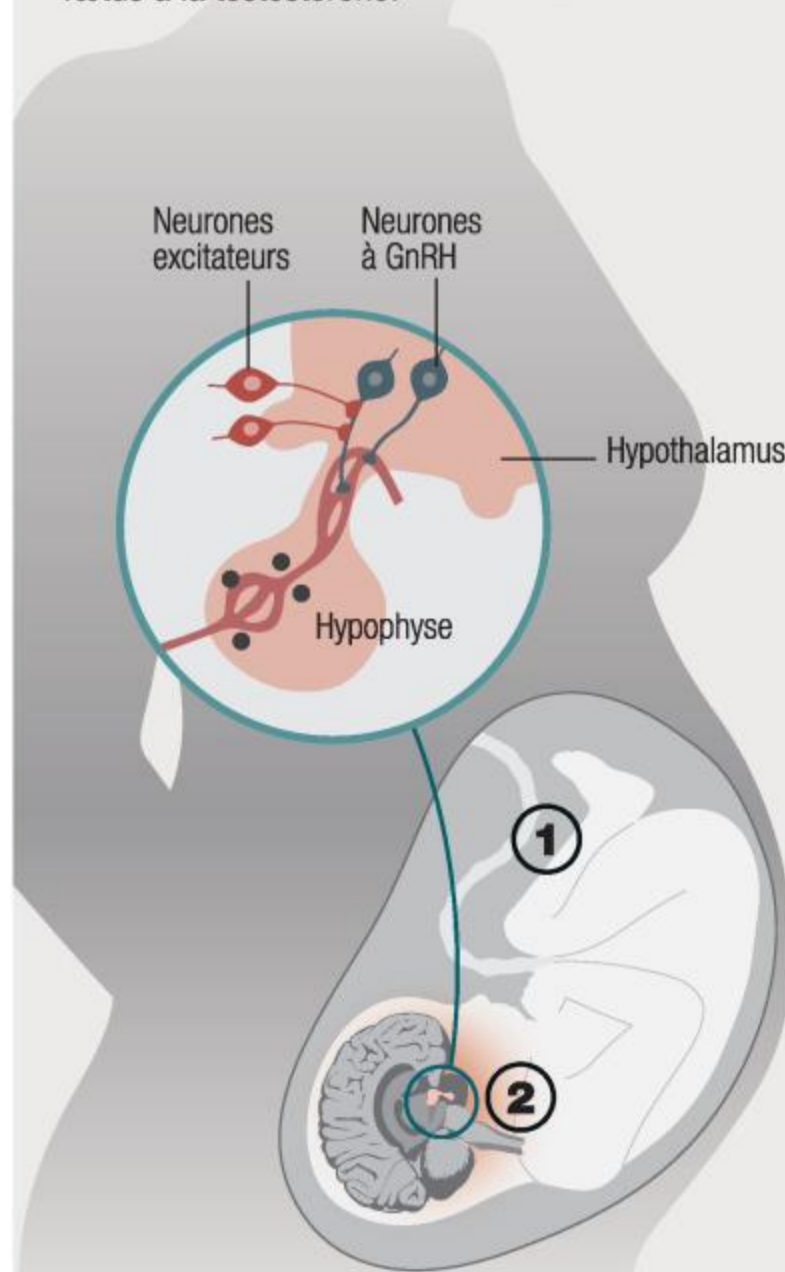
PAOLO GIACOBINI

Directeur de recherche à l'Inserm et à l'université de Lille (CHU)



Un trouble qui démarre dans le cerveau du fœtus...

Le syndrome des ovaires polykystiques serait dû à une exposition anormale du cerveau du fœtus à la testostérone.



1 Durant son développement, le fœtus féminin est exposé à des taux anormalement élevés de testostérone maternelle, au niveau du placenta.

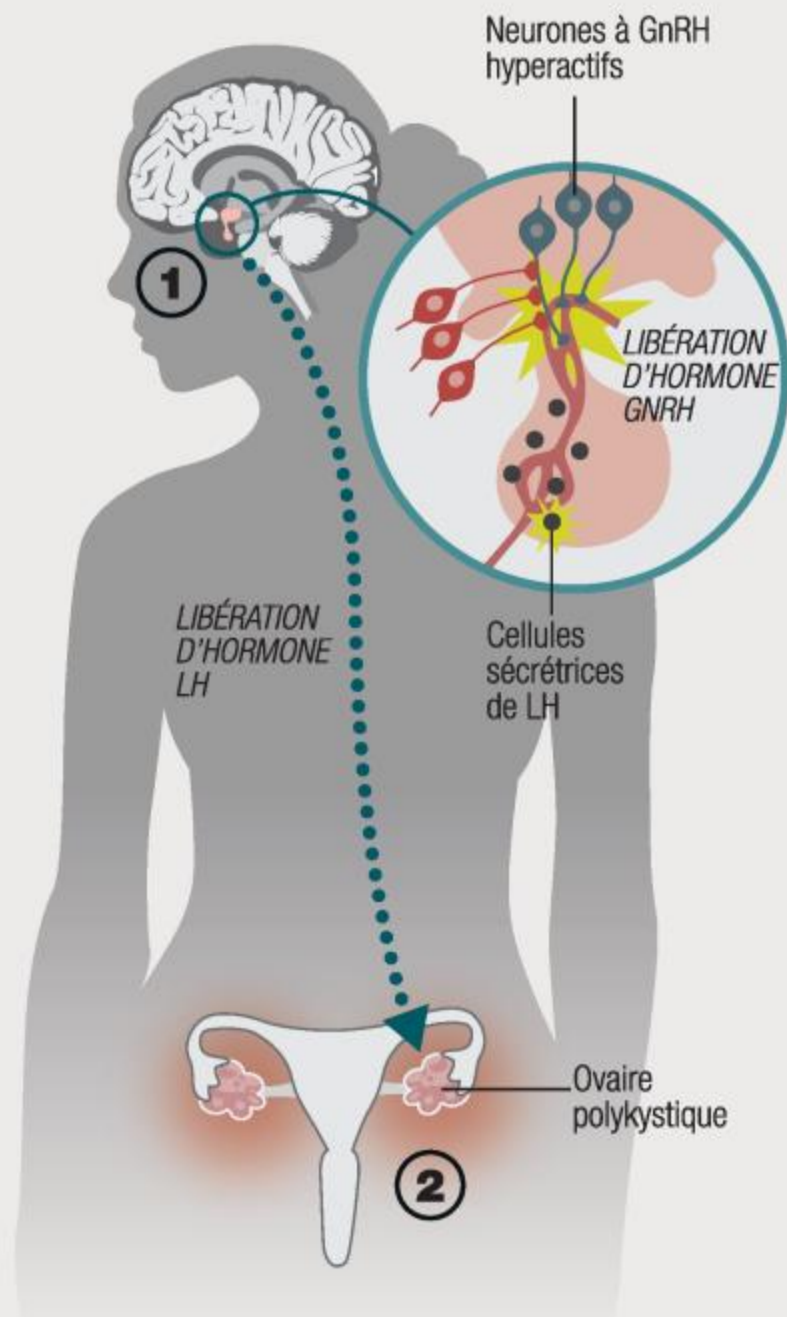
2 Cette testostérone entraîne une augmentation des connexions entre neurones sécrétant de l'hormone GnRH et neurones excitateurs, ce qui rend les premiers hyperactifs.

gestation, le développement du cerveau des fœtus. L'équipe de Paolo Giacobini s'est donc naturellement posé la question suivante : et si l'imprégnation par de forts taux de testostérone des fœtus femelles entraînait une masculinisation de leur cerveau, qui serait elle-même, par la suite, responsable du dysfonctionnement des ovaires ?

Banco ! En comparant les cerveaux de souris mâles et ceux de souris femelles atteintes du syndrome, *"nous avons constaté que le cerveau*

... et qui pilote les ovaires à l'âge adulte

Les altérations de la structure neuronale du cerveau de la fille devenue adulte perturbent la production d'hormones, et donc le fonctionnement des ovaires.



1 À l'âge adulte, des taux anormalement élevés de GnRH sont produits, et activent de manière excessive, dans l'hypophyse, les neurones producteurs de l'hormone LH.

2 Des taux anormalement élevés de LH sont sécrétés dans le sang, ce qui va perturber le fonctionnement des ovaires, où l'on observera notamment la formation de kystes... et une augmentation de la production d'AMH.

de ces dernières était bien masculinisé, détaille Paolo Giacobini. C'est-à-dire que chez les femmes atteintes, un groupe de neurones situés dans l'hypothalamus et chargés de sécréter la GnRH (une neurohormone) forment plus de connexions avec des neurones excitateurs, exactement comme chez les mâles."

Ces neurones sont donc suractivés, ce qui induit une production plus importante de GnRH, avec des conséquences sur la production hormonale : des neurones situés dans

une autre glande cérébrale, l'hypophyse, sont à leur tour stimulés et fabriquent en plus grande quantité une autre hormone, la LH (hormone lutéinisante). Et c'est cette dernière qui va passer dans le sang, perturber le fonctionnement des ovaires et provoquer un syndrome des ovaires polykystiques. Lui-même associé à une forte production d'AMH...

CETRORELIX : LA MOLÉCULE DE L'ESPOIR

La boucle est bouclée. Les chercheurs ont trouvé dans le cerveau la source du SOPK et de son mode de transmission de mère en fille... Ce qui ouvre l'espoir que des traitements visant ces dysfonctionnements du cerveau soignent la maladie et évitent en même temps sa transmission.

Un espoir que l'équipe de Paolo Giacobini a d'ores et déjà mis à l'épreuve. Une fois révélés les mécanismes neurologiques sous-jacents de la maladie, les chercheurs s'en sont inspirés pour tester l'efficacité thérapeutique d'une molécule déjà utilisée en médecine, le cetorelix, capable de moduler l'action de la GnRH. En administrant, et ce de façon discontinue, une faible dose de ce médicament, utilisé jusqu'à présent dans d'autres troubles de la fertilité, ils sont parvenus à normaliser la sécrétion de LH. Résultat : non seulement une restauration de la fertilité des souris, mais aussi un arrêt de la transmission du syndrome de génération en génération !

De là à imaginer un traitement curatif, voire préventif ? "En raison des possibles effets secondaires sur le bébé à naître, il est difficilement envisageable de réaliser un essai clinique dans lequel on injecterait le cetorelix aux femmes enceintes pour éviter qu'elles transmettent le syndrome à leurs filles", souligne le chercheur. En revanche, la molécule pourrait être injectée aux femmes qui, à cause de leur maladie, ne parviennent pas à avoir un enfant. "La route est longue et très éprouvante pour les couples qui doivent avoir recours à la fécondation in vitro. Nos travaux suggèrent une alternative possible!", indique Paolo Giacobini. Plusieurs années de recherches seront encore nécessaires pour vérifier si un simple médicament pourra relancer la fertilité des millions de femmes concernées. Mais l'espoir est là.



À consulter : le communiqué des résultats de l'étude sur le site presse.inserm.fr

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

Robots

L'union fait leur nouvelle force

On appelle ça "l'intelligence en essaim". Plutôt que de viser l'hyper performance d'une seule machine, cette robotique en plein essor mise sur plein de petites unités rudimentaires travaillant ensemble pour accomplir des tâches complexes. Un complet renversement de tendance qui s'inspire des insectes sociaux ou de l'évolution de l'ADN... Et ça marche, a pu constater **Pierre-Yves Bocquet**.



Repères

Né en 1989, le concept d'"intelligence en essaim" se définit comme la capacité pour des robots non-intelligents à adopter un comportement collectif intelligent.



C'est une machine très primitive dotée d'une puissance de calcul rachitique: quelques mégahertz de fréquence d'horloge à peine, associés à quelques dizaines de kilo-octets de mémoire et à un algorithme de contrôle dépassant rarement la centaine de lignes de code. "On est plus proche du Minitel que d'un smartphone!", euphémise un chercheur. Et pourtant, cette machine parvient à s'acquitter de missions difficiles aussi bien – voire mieux – que les robots les plus complexes!

Le secret de ce tour de force? Le nombre. La machine n'est pas seule mais s'entoure de dizaines de ses semblables qui font corps avec elle. Un troupeau. Une nuée. Un essaim, pour reprendre le terme consacré.

Nous le savons, des robots, qui seront capables d'effectuer de façon autonome les tâches les plus complexes, vont bientôt envahir notre quotidien. Humanoïdes, avions, voitures... des machines le plus souvent hypersophistiquées et dotées d'une intelligence artificielle supérieure. Mais à côté de ces cracks du calcul, la robotique s'apprête à accoucher d'un tout nouveau type de machine... à l'exact opposé. Une intelligence artificielle non plus solitairement supérieure, mais tirant sa force de l'union collective.

DES SUPER-ORGANISMES COMPLEXES

Il aura fallu près de vingt ans pour que ce fantasme commence à se concrétiser. Née au tout début des années 1990 d'une convergence entre la robotique, la biologie, l'éthologie et l'intelligence artificielle, cette nouvelle discipline est longtemps restée cantonnée à la théorie et aux simulations virtuelles sur ordinateur. Mais aujourd'hui, la donne change! La robotique en essaim est devenue depuis peu l'une des branches les plus dynamiques et prometteuses de la robotique. "Cette discipline connaît un regain d'intérêt grâce à la baisse du prix des composants. Ce qui facilite le passage à l'expérimentation réelle, avec des essaims d'un millier de robots, voire

M. BIRATTARI

LES ESSAIMS DE ROBOTS

Dans le règne animal, c'est l'un des premiers signes d'intelligence. Pour la première fois, un groupe de robots est parvenu à planifier de manière collective l'ordre de ses actions.

Cet essaim se compose d'une vingtaine de petits robots munis de roues, devant se rendre dans trois endroits distincts à la suite. Sauf qu'ils ne savent pas où se situent ces points. Et ils ne sauront s'ils ont effectué la bonne séquence qu'après leur passage seulement. Pour capitaliser leurs expériences, une partie des robots est programmée pour former une chaîne, un fil d'Ariane

plus. Ce que l'on ne pouvait pas envisager il y a encore 5 ans", s'enthousiasme Sabine Hauert, professeur assistante à l'université de Bristol et spécialiste des nanorobots biomédicaux.

L'approche, radicalement différente de celle de la robotique traditionnelle, était posée dès le départ: utiliser des éléments individuellement basiques, peu chers, faciles à programmer, et miser sur le nombre pour faire émerger des comportements complexes. "Le but est d'imiter le monde animal dans lequel des êtres individuellement dotés de faibles performances cognitives peuvent collectivement réaliser des choses extraordinaires", explique Rodolphe Charrier, chercheur au Laboratoire d'informatique, de traitement de l'information et des systèmes (Litis). On pense évidemment aux fourmis, championnes pour sélectionner le meilleur itinéraire à emprunter pour rapporter de la nourriture jusqu'à leur nid; aux termites, ingénieuses bâtisseuses de superstructures; ou encore aux étourneaux et aux poissons qui s'associent pour former des super-organismes aux mouvements coordonnés destinés à perturber les prédateurs.

La particularité de l'intelligence de telles populations: elle n'est pas centralisée, mais distribuée dans chacun de ses agents, dont le comportement autonome est régi par des lois simples liées à son environnement, notamment

S'AUTO-ORGANISENT DÉJÀ

indiquant aux autres le chemin à suivre. Ainsi, au fil des tentatives, dont ils se transmettent les résultats par signaux infrarouges, la chaîne se déplace progressivement jusqu'à indiquer le bon trajet, une sorte d'itinéraire GPS pour aider les autres robots à repérer les cibles et à identifier l'ordre dans lequel les visiter. *"La chaîne encode la connaissance collective. En résumé, certains robots de l'essaim forment eux-mêmes la mémoire collective du groupe en se positionnant dans l'espace"*, résume Mauro Birattari, co-auteur de l'étude publiée en juillet 2018.



^ Cette colonie développe sa propre mémoire collective au fur et à mesure de ses déplacements.

les informations fournies par les individus voisins, qui se diffusent ainsi de proche en proche. D'où un énorme avantage en robotique: la résilience, c'est-à-dire la capacité du groupe à rester opérationnel en cas de panne ou de perte de l'un de ses individus. *"C'est tout l'intérêt d'un système distribué: on peut enlever un ou plusieurs éléments, ou au contraire en rajouter, sans que le comportement global de l'essaim soit altéré"*, pointe Mauro Birattari, de l'Institut de recherches interdisciplinaires et de développements en intelligence artificielle (Iridia) de l'École polytechnique de Bruxelles.

Ce mode de fonctionnement particulier, distribué et sans cerveau central pour le piloter, ouvre des possibilités hors de portée des robots traditionnels. Imaginez donc ce que parviendrait à faire une armée de micro-robots qui, tels des araignées, pourraient se faufiler dans les décombres d'un tremblement de terre, se coordonner et s'entraider pour retrouver les victimes ensevelies. Ou un escadron de drones éclaireurs, chargés de détecter la position d'engins explosifs dans un terrain miné ou d'explorer la surface d'une planète inconnue. En juillet dernier, le motoriste britannique Rolls-Royce a même annoncé qu'à l'avenir, des colonies de mini-robots pourraient être introduites grâce à des endoscopes à l'intérieur de ses moteurs

d'avions pour inspecter leurs rouages dans leurs moindres recoins. Et à une échelle encore plus petite, les médecins du MIT imaginent carrément des armadas de nanorobots que l'on pourrait s'injecter dans le corps, afin de cibler les cellules cancéreuses et y appliquer les traitements adaptés... *"De tels essaims compléteront les robots monolithiques dès lors que l'accessibilité ne permet pas l'utilisation de gros appareils, comme en médecine, quand un travail doit être fait en parallèle, dans le bâtiment ou en agriculture, ou encore quand il y a un risque de perdre un individu dans un environnement difficile"*, prévoit Mauro Birattari.

Mais pour les construire, encore fallait-il réussir à écrire des programmes informatiques →

On peut enfin passer à l'expérimentation réelle avec des essaim d'un millier de robots, voire plus. Ce qui était inenvisageable il y a encore 5 ans

SABINE HAUERT

Spécialiste des nanorobots biomédicaux, université de Bristol

→ capables de donner corps à cette intelligence distribuée, de générer de tels comportements collectifs. C'était bien là le nœud du problème. Si l'union des robots fait leur force, elle fait aussi toute la difficulté de la discipline, qui exigeait de nouvelles classes d'algorithmes pour prendre en compte ces particularités.

CASSE-TÊTE ALGORITHMIQUE

Car un essaim est un système complexe: un ensemble dont les interactions internes sont si nombreuses qu'il est difficile de prévoir par le calcul son comportement global. Très vite, et de manière chaotique, les possibilités explosent, des phénomènes non-linéaires émergent, qui induisent des comportements imprévus, tels des regroupements localisés, ou, au contraire, des éléments qui se désolidarisent du groupe. *"Il est difficile de traduire au niveau individuel le comportement global que l'on souhaite obtenir"*, résume Sabine Hauert. L'essaim s'apparente en quelque sorte à une boîte noire: on sait quel comportement on veut qu'il possède (explorer une zone, éviter des obstacles, trouver une cible, la transporter...), mais pas comment programmer chaque individu pour obtenir ce résultat. C'est ce casse-tête mathématique autant qu'algorithmique que de nombreux travaux sont en train de résoudre, en menant de front différentes stratégies. Trois, en particulier, ont conduit ces dernières années à des percées remarquables.

La première de ces approches est inscrite dans l'ADN même de la robotique en essaim: elle transpose littéralement l'idée originelle pour s'inspirer de la nature et tenter de coder le comportement des insectes pour l'injecter dans des



^ Ces drones optimisent en temps réel leur vitesse et la distance à leurs voisins.

robots. Ce biomimétisme a notamment donné naissance aux algorithmes "de colonies de fourmis". *"L'idée consiste à imiter les fourmis qui parviennent à trouver l'itinéraire le plus court en laissant des phéromones sur leur passage: plus le chemin est court, plus le nombre de fourmis qui l'empruntent augmente vite et plus le passage est renforcé par les phéromones. Du coup, les algorithmes reproduisent ce comportement avec des agents virtuels qui se déplacent sur un graphe et laissent à certains endroits des phéromones virtuelles"*, explique Marco Dorigo, l'inventeur de cette famille d'algorithmes, directeur de recherche au FNRS, en Belgique.

Une approche apparemment simple... mais qui a permis de résoudre les problèmes mathématiques parmi les plus complexes, dits NP-complets, comme le célèbre problème du commis voyageur, où il s'agit de trouver le chemin le plus court reliant un grand nombre de villes! *"La grande force de ces algorithmes, c'est que si on les laisse tourner assez longtemps, ils trouvent à tous les coups la meilleure solution au problème"*, s'enthousiasme Rodolphe Charrier.

D'autres modèles s'inspirent des abeilles: quand elles trouvent de la nourriture, l'intensité de leur comportement devient proportionnelle à la qualité de leur découverte, ce qui leur permet de recruter plus ou moins d'abeilles pour les suivre. Des programmes ont transposé cette compétence à des robots, grâce à une simple

Si on laisse tourner ces algorithmes assez longtemps, ils trouvent à tous les coups la meilleure solution au problème

RODOLPHE CHARRIER
Chercheur au Laboratoire
d'informatique, de traitement de
l'information et des systèmes



ILS DÉTECTENT ET ÉVITENT LES OBSTACLES

Trente drones lancés à 30 km/h sont parvenus à se coordonner pour éviter les collisions dans un espace délimité. Soit la première démonstration, dans les conditions réelles, d'une manœuvre collective de détection et d'évitement d'obstacle à une vitesse aussi élevée – les essaims de drones sont en effet

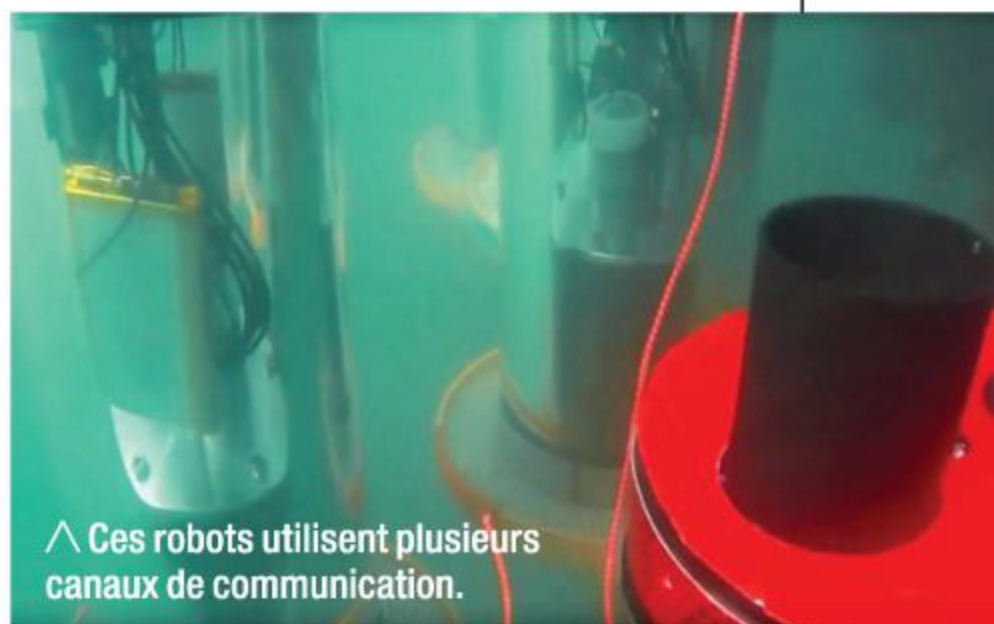
particulièrement sensibles, et cela d'autant plus que leur vitesse est grande, aux contraintes environnementales (obstacles, vent, perturbations...). Pour réussir cette performance, le spécialiste hongrois Gábor Vásárhelyi et son équipe ont testé une méthode d'optimisation évolutionnaire sur une

centaine de drones virtuels. Génération après génération, les appareils ont sélectionné les bonnes lignes de code, jusqu'à mettre au point un algorithme qui optimise en temps réel le compromis entre la vitesse et la distance à respecter entre les drones nécessaires pour éviter les accidents.

ILS S'ENTENDENT MÊME S'ILS SONT DIFFÉRENTS

Déployé en septembre 2017 dans la lagune de Venise, cet essaim est composé de trois familles de robots qui coopèrent. Immobile au fond de l'eau, le aMussel étudie la qualité de l'eau; mobile comme un poisson, le aFish lui transmet ses mesures; et les deux remontent à la surface se recharger sur le aPad. Pour les commander, les chercheurs ont développé un

algorithme inspiré des poissons électriques et des lucioles dont le défi a été de garantir leur communication. *"Venise est un environnement complexe: eaux troubles, déchets, bateaux, rappelle Thomas Schmickl, pilote du projet SubCULTron. Nous utilisons donc divers canaux de communication: lumières clignotantes, sons et courants électriques..."*



^ Ces robots utilisent plusieurs canaux de communication.

source lumineuse d'intensité variable. Ou encore des poissons, comme ce banc de drones déployé dans les eaux vénitienes (voir module).

Reste que cette inspiration animalière atteint vite ses limites, admet Marco Dorigo: *"Il faut que le comportement que l'on souhaite obtenir avec l'essaim existe dans la nature, et qu'il puisse être formalisé, ce qui n'est pas toujours le cas."* La solution: utiliser des "métaheuristiques d'optimisation", soit des logiciels spécialisés dans la résolution des problèmes combinatoires complexes. Les algorithmes de colonies de fourmis, eux-mêmes, peuvent être utilisés à cette fin, non pour être implantés directe-

ment dans des robots, mais comme méthode d'optimisation par calcul, pour obtenir ces lignes de code: ils laissent les robots se déplacer en suivant des règles simples (favoriser la cohésion pour former un groupe; converger vers un alignement pour suivre la même direction...), inspirées de programmes de vie artificielle, comme les Boids de Reynolds, conçus pour reproduire les essaims d'oiseaux. Reste à y introduire une touche d'aléatoire (la "stochastique", dans le jargon mathématique), afin de favoriser la variété des comportements. Et à renforcer les bonnes réactions, en général en attribuant un score plus ou moins élevé selon que l'essaim se



→ comporte de la façon souhaitée ou non. Il suffit ensuite de faire tourner le modèle jusqu'à obtenir le score le plus élevé. *"Ces algorithmes permettent de reproduire des comportements de patrouille, de récupérer des objets, d'encercler une cible"*, détaille Nicolas Bredèche, chercheur à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (Sorbonne Université).

La seconde piste lorgne du côté de l'intimité même du vivant : les très étonnants algorithmes évolutionnaires consistent carrément à imiter la façon dont l'ADN se transmet et s'améliore d'une génération à l'autre, et de l'appliquer à des lignes de code pour, au final, aboutir à un programme

abouti au comportement voulu", sourit Sabine Hauert. Sans compter que cette sélection accélérée nécessite une forte puissance de calcul, ce qui la rend pertinente pour trouver en labo un comportement que l'on puisse ensuite injecter dans les robots, mais difficile à implémenter directement sur des machines. Or, tout l'intérêt des essaims réside dans leur capacité à apprendre et à évoluer sur le terrain, en fonction de leurs interactions et de leurs expériences.

C'est sur ces dernières compétences que se focalise la troisième approche, l'optimisation par essaims particuliers. *"Ici, chaque individu se déplace vers un point qui paraît être une bonne solution, explique le spécialiste Maurice Clerc, mais garde en mémoire sa dernière bonne position, qu'il partage avec les 5 ou 6 individus situés dans son voisinage direct."* Cet algorithme très simple, de quelques dizaines de lignes de code, réussit le tour de force de converger rapidement et de reproduire le vol de nuées d'oiseaux.

Reste à résoudre un problème commun à toutes ces approches : *"Quand on passe sur des robots réels, ça ne fonctionne pas toujours, expose Sabine Hauert. Quand on ajoute un robot ou que l'un d'entre eux tombe en panne, cela entraîne parfois un dysfonctionnement de l'essaim, qui ne devrait pas se produire."* Ce que confirme Nicolas Bredèche : *"Les robots réels ne sont jamais parfaits et*

Pourra-t-on vraiment les contrôler ?

Peut-on faire confiance à des robots dont l'intelligence est une sorte de boîte noire dont les concepteurs eux-mêmes ignorent presque tout ? C'est l'un des grands problèmes de l'I.A. Et il est particulièrement saillant pour des essaims. "La certification va poser des difficultés, dont les réponses ne seront pas seulement techniques, mais éthiques et sociales", prévoit Mauro Birattari, spécialiste du sujet à l'Université libre de Bruxelles. Là encore, les spécialistes cherchent des solutions algorithmiques : des programmes de supervision qui contrôleraient en temps réel le comportement des essaims. Un premier essai a été mené sur 600 robots à l'université de Sheffield.

correspondant au comportement souhaité pour l'essaim. Pour cela, les chercheurs implantent par exemple des algorithmes sur cent robots virtuels, font tourner la simulation et ne gardent que ceux qui fonctionnent le mieux. Puis ils les hybrident automatiquement entre eux, en mélangeant les lignes de code et en introduisant des mutations aléatoires, exactement comme en génétique. Au bout d'un certain nombre de générations, ils obtiennent l'algorithme qui produit le comportement voulu. Ainsi, une équipe hongroise est parvenue à trouver les meilleurs réglages pour que des drones volent en formation serrée, tout en évitant les collisions (voir module). *"Le seul petit souci, c'est qu'on ne sait pas toujours expliquer pourquoi cet algorithme*

se comportent différemment de leurs modèles virtuels : ils dévient légèrement et ne vont pas toujours dans la direction souhaitée." C'est le grand défi à relever encore : rendre ces algorithmes plus stables, de manière à ce qu'un petit changement dans les conditions initiales ne se traduise pas, au final, par un grand mouvement d'essaim, un crash... ou un comportement dangereux pour l'homme (lire ci-contre).

Et de donner alors naissance à des hordes de bêtes de course, évolutives et coordonnées, dont l'intelligence collective sera plus grande que la somme de celles des individus. Une perspective aussi enthousiasmante qu'inquiétante qui n'est pas sans rappeler les hordes d'araignées robotisées des films *Matrix* et *Minority Report*.



À voir : une série de vidéos d'essaims expérimentaux accomplissant toutes sortes de tâches.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

112 C'est maintenant

Pilule contraceptive: faut-il vraiment s'en méfier?

114 En pratique

Au foot, le jeu de tête est très mauvais... pour la tête

Le froid ralentit la charge des voitures électriques

Être trop connecté annulerait les effets d'une "mise au vert"

118 Technofolies

Des bouchons d'oreilles miniaturisés et connectés

Les toutes premières chaussures en graphène

122 À voir / à lire / à faire

Le film *First Man* de Damien Chazelle

124 Questions/Réponses

Quand elle est à ras bord, pourquoi l'eau enfle au lieu de déborder?

Un objet est visible à partir de combien d'atomes?

La vitesse du son est-elle la même sur toutes les planètes?

130 Bulle de science

112

C'est maintenant



114

En pratique



120

Technofolies



122

À voir, à lire, à faire



128

Questions/
Réponses



130

Bulle
de
science



Pilule contraceptive : faut-il vraiment s'en méfier ?

Les Françaises boudent la pilule : elles n'étaient plus que 33 % à la prendre en 2016, contre 41 % en 2010. En cause : une méfiance croissante envers les médicaments, et en particulier ce contraceptif dont les effets secondaires seraient volontairement minimisés...
Vrai-faux ? Le point sur les cinq accusations les plus fréquentes.

PAR **KHEIRA BETTAYEB**



Fait-elle vraiment grossir ?

Ce risque est signalé noir sur blanc sur la notice de certaines pilules. Pourtant, la plupart des scientifiques sont aujourd'hui d'avis qu'il s'agit d'un mythe. Certes, de fortes doses d'œstrogènes peuvent induire une rétention d'eau et une augmentation de l'appétit, mais les pilules commercialisées aujourd'hui n'en contiendraient pas assez pour produire ces effets. Des travaux suédois portant sur environ 1 400 femmes n'ont d'ailleurs trouvé aucun lien solide entre prise de poids et pilule. Seule une minorité de femmes, du fait probablement d'une susceptibilité génétique, prennent quelques kilos. *"Généralement causé par de la rétention d'eau, ce gain de poids disparaît après deux ou trois mois d'utilisation"*, précise Israël Nisand (hôpitaux de Strasbourg/CNGOF).



Favorise-t-elle les accidents vasculaires ?

C'est vrai pour les pilules les plus souvent prescrites, dites œstroprogestatives (composées à la fois d'un œstrogène et d'un progestatif). Ces dernières, en favorisant la coagulation du sang, augmentent le risque d'infarctus, d'accident vasculaire cérébral (AVC), de phlébites, de thromboses et d'embolies pulmonaires. Les dernières pilules arrivées sur le marché, dites de troisième et quatrième générations, quadruplent le risque de formations de caillots dans le sang, et celles de deuxième génération le doublent. Mais *"le risque reste très faible"*, insiste le gynécologue Israël Nisand. Il concerne respectivement 0,04 % et 0,02 % des utilisatrices. Sauf pour celles qui ont un risque au départ plus élevé (fumeuses, diabétiques, hypertendues...), chez qui les effets sont plus marqués : la pilule peut, par exemple, multiplier par 8,8 le risque d'accident vasculaire chez les fumeuses.



Augmente-t-elle le risque de cancer ?

Oui, mais elle en protège aussi! Comme l'a confirmé une étude portant sur 46000 femmes suivies pendant quarante-quatre ans, si la pilule est associée à une augmentation du risque de certains cancers, comme ceux du sein (+ 3%) et du col de l'utérus (+ 34%), ce sur-risque semble disparaître après cinq ans d'interruption de la contraception. À l'inverse, la pilule protégerait contre les cancers de l'intestin (- 19%), de l'endomètre (-33%), de l'ovaire (-36%) et du sang (-26%).



Diminue-t-elle la libido ?

Si l'idée est largement relayée sur les forums féminins, les experts sont pour la plupart dubitatifs. Certes, la pilule supprime les fluctuations d'hormones survenant lors du cycle menstruel, dont il est démontré qu'elles jouent un rôle dans la sexualité féminine. Mais les données recensées par les chercheurs sont contradictoires. Une analyse de la littérature scientifique, publiée en 2013, calculait d'ailleurs que dans l'ensemble des études, 15% des femmes interrogées avaient déclaré en moyenne une diminution de leur libido... contre 23% une augmentation.



Modifie-t-elle l'humeur ?

Cette hypothèse concentre l'intérêt de nombreux chercheurs et médecins. Plusieurs études menées sur des milliers de femmes suggèrent en effet que la pilule augmente le risque de dépression, et peut même le doubler chez les adolescentes, alors que d'autres études ne trouvent aucun lien. Publiée au début de l'année, une analyse de l'ensemble de la littérature scientifique sur le sujet concluait finalement à l'impossibilité de trancher le débat et à la nécessité de mener de nouvelles études. À suivre, donc.

EN CHIFFRES

250 %

C'est la hausse du nombre d'intoxications d'enfants au cannabis (dont aucune mortelle jusqu'à présent) depuis 2010. Avec près de 6 cas par mois en moyenne entre 2015 et 2017, contre 2,3 entre 2010 et 2014. En cause, notamment: l'augmentation de la consommation chez les jeunes parents. **I.E.H.M.**

0,049 %

C'est, selon les derniers chiffres de l'OMS, le pourcentage de Français décédés des suites d'un AVC chaque année: le taux le plus faible d'Europe, et toujours en légère baisse. L'AVC reste néanmoins la première cause de mortalité des Françaises; la troisième pour les hommes. **E.A.**

570 millions

C'est la quantité de CO₂, en tonnes, qui n'a pas été émise dans l'atmosphère en 2017 grâce à l'utilisation massive des LEDs dans l'éclairage. Ce chiffre devrait encore progresser car l'Union européenne a interdit la vente d'ampoules halogènes le 1^{er} septembre dernier. **I.E.H.M.**

Le jeu de tête au foot est très mauvais... pour la tête

Nom de l'université

Institut Sutter Health
(Sacramento, États-Unis)

Nombre de cas étudiés

308

Publié dans

Frontiers in Neurology, avril 2018

On le sait, les sports de contact sont une cause importante de troubles neurologiques (voir *Science & vie* n° 1185). Mais voilà qu'une étude américaine révèle que des altérations des capacités cognitives peuvent apparaître en seulement deux semaines de pratique de football amateur!

Des risques minimisés

Pendant trois ans, plus de 300 joueurs amateurs ont rempli un rapport d'activité et passé des tests mesurant leurs capacités cognitives. Résultat : un tiers de ceux pratiquant le plus assidûment (quatre entraînements ou matchs hebdomadaires) montraient, en deux semaines, une baisse de 0,9% de leur mémoire à court terme, de 0,6% de leur attention et de 0,5% de leurs capacités d'apprentissage psychomoteur. Même si ces baisses ne

sont "pas cliniquement préoccupantes", reconnaissent les auteurs, leur rapidité d'apparition ne doit pas être prise à la légère. D'autant qu'elles n'étaient pas dues qu'à des chocs accidentels entre joueurs, mais aussi à la pratique de têtes.

Si la fédération américaine de "soccer" interdit depuis 2016 le jeu de tête pour les moins de 10 ans et le limite jusqu'à 14 ans – les enfants étant plus exposés aux commotions cérébrales –, la fédération française de football n'a pour autant pas prévu de changer les règles. À l'heure où les adhésions post-Coupe du monde battent sans doute leur plein, le sujet devrait pourtant être sérieusement reconsidéré au vu des risques encourus : "Les chocs liés aux dribbles avec la tête sont moins violents que lors d'un impact involontaire et provoquent des subcommotions et non des commotions, c'est-à-dire des troubles électriques dans le cerveau au lieu d'une perte complète d'activité électrique", minimise Emmanuel Orhant, directeur médical de la FFF. Carton rouge?

Marielle Vaxelaire



La pollution n'altère pas les bénéfices du sport

On le savait, les bénéfices de l'exercice sur la santé cardio-vasculaire surpassent les risques liés à l'inhalation plus importante de polluants. Une étude va plus loin : les bienfaits du sport ne seraient même pas diminués en cas de pollution. C'est ce qui ressort du suivi, pendant près de dix-huit ans, d'environ 50 000 Danois âgés de 50 à 65 ans, chez lesquels la pratique d'un sport réduisait le risque de crise cardiaque de 10 à 15 %, quelle que soit la qualité de l'air ! "Journal of the American Heart Assoc.", juillet 2018



Les pieds se formeraient mieux sans chaussures

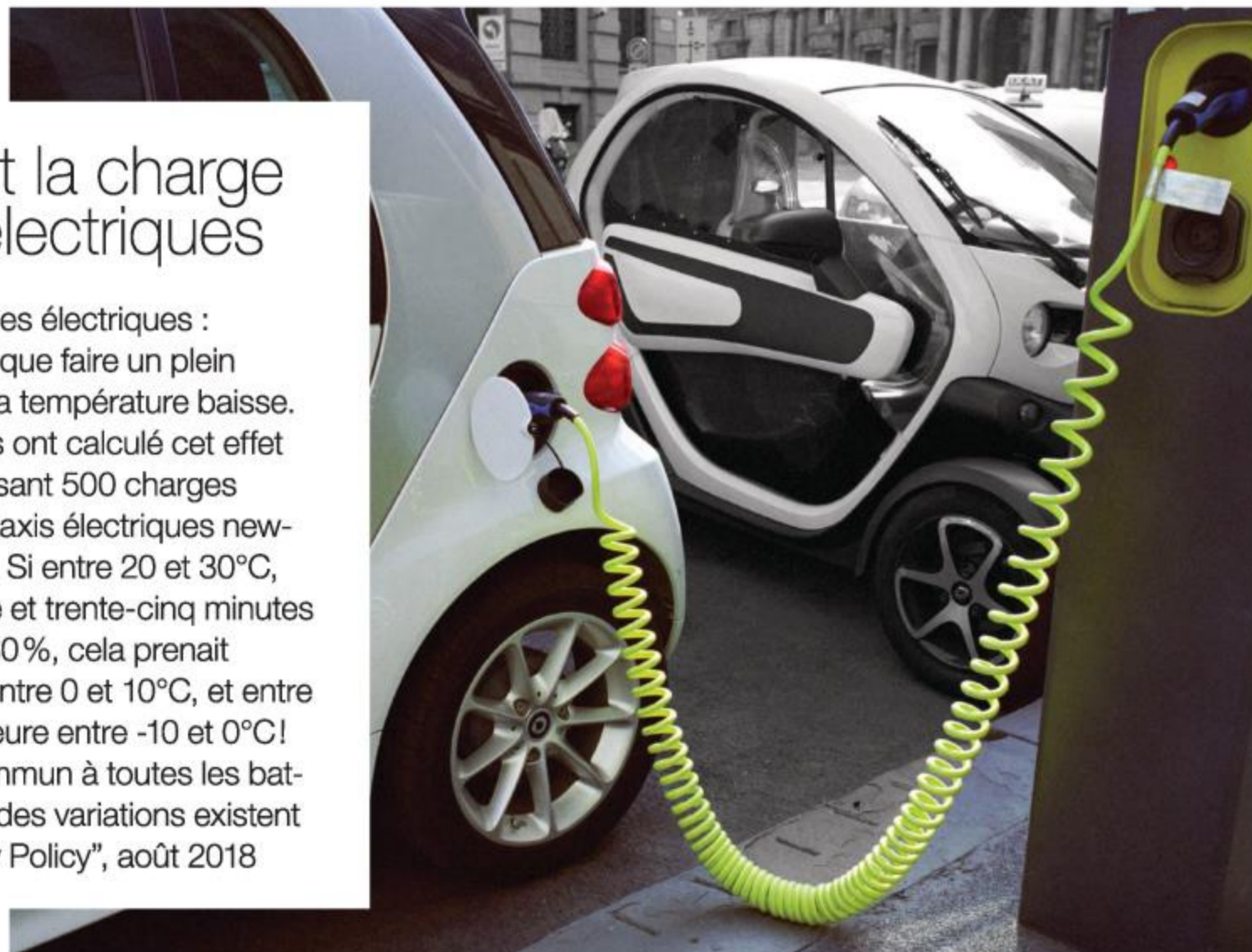
Une étude germano-sud-africaine menée sur 810 enfants de 6 à 18 ans montre que ceux habitués à marcher pieds nus dès leur plus jeune âge ont des résultats légèrement supérieurs à des tests d'équilibre et de sauts en longueur. Selon les auteurs, cela renforcerait la musculature des pieds. D'où le conseil de pratiquer des activités physiques sans chaussures. "Frontiers in Pediatrics", avril 2018

Le premier souvenir n'est pas celui qu'on croit

Sur 6 641 personnes, 40 % prennent pour un souvenir ce qui n'est que le fruit de leur imagination. Les souvenirs évoqués auraient été enregistrés avant la troisième année de vie, période durant laquelle la mémorisation à long terme serait strictement impossible. "Psychological Science", juillet 2018

Le froid ralentit la charge des voitures électriques

C'est un défaut des véhicules électriques : les recharger est plus long que faire un plein d'essence, surtout quand la température baisse. Des chercheurs américains ont calculé cet effet de la température en analysant 500 charges réalisées par une flotte de taxis électriques new-yorkais entre 2013 et 2015. Si entre 20 et 30°C, il fallait environ entre quinze et trente-cinq minutes pour charger la batterie à 80 %, cela prenait jusqu'à quarante minutes entre 0 et 10°C, et entre quarante minutes et une heure entre -10 et 0°C ! Un problème qui serait commun à toutes les batteries lithium-ion, même si des variations existent selon les modèles. "Energy Policy", août 2018



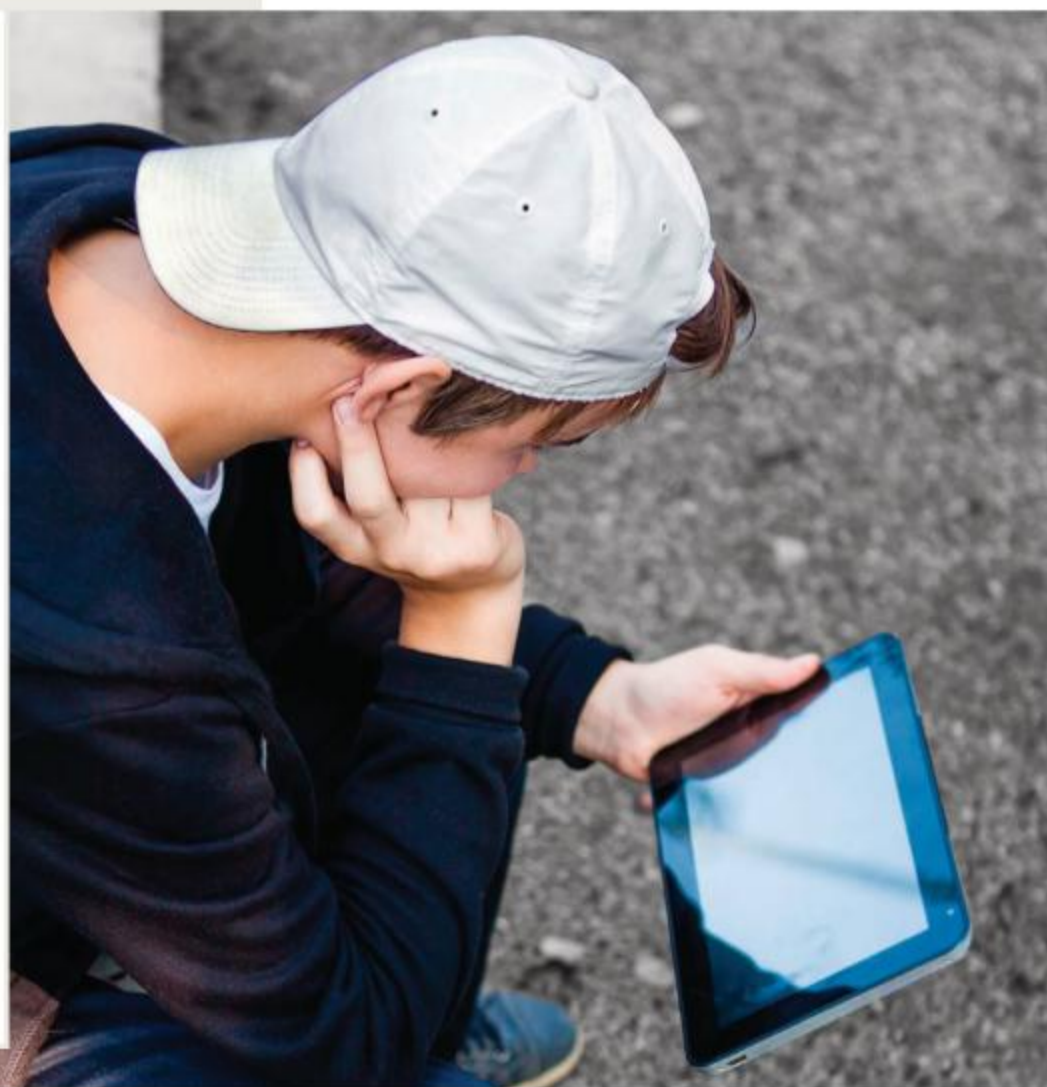


Être trop connecté annulerait les bienfaits d'une "mise au vert"...

Une étude sino-américaine portant sur 81 volontaires a montré qu'une pause de quinze minutes au vert augmente significativement les capacités d'attention, mais que consulter son ordinateur portable lors d'un tel *break* annule totalement ces bénéfices. D'après les chercheurs, la contemplation de la nature favoriserait le vagabondage de l'esprit, ce qui permettrait le repos et l'amélioration de la concentration. Or, les technologies numériques empêcheraient de se laisser aller à cette "*fascination douce*". "Environment and Behaviour", juillet 2018

... et favoriserait l'hyperactivité chez les adolescents

De plus en plus de parents affirment avoir des enfants hyperactifs. Une des causes de cette augmentation a peut-être été identifiée par des chercheurs de l'université de Californie, qui ont suivi 2587 lycéens pendant deux ans. Ils ont observé que 9,5% de ceux ayant déclaré utiliser très fréquemment les médias numériques avaient développé un TDAH (trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité). Leur hypothèse: en étant sans cesse distrait à travers des notifications ou des interactions brèves avec d'autres utilisateurs, la concentration, la patience et le contrôle des impulsions sont perturbés. "JAMA", juillet 2018



La mauvaise humeur a du bon

Broyer du noir peut aider à réaliser certaines tâches! Du moins chez les personnes hypersensibles qui, plus habituées aux émotions négatives, s'en trouveraient moins déstabilisées. Cela favoriserait même chez elles une pensée analytique qui s'avère avantageuse pour élaborer des stratégies ou organiser son temps. "Personality and Individual Differences", juillet 2018

Un simple merci augmente le bien-être

L'expression de la gratitude augmente le bien-être à la fois du "remerçant" et du "remercié". Pourtant, d'après une étude américaine menée sur 127 étudiants, la plupart sous-estiment la sensation positive que procure ce petit mot, et surestiment la gêne qu'il peut induire. "Psychological Science", juin 2018

Les toutes premières chaussures en graphène

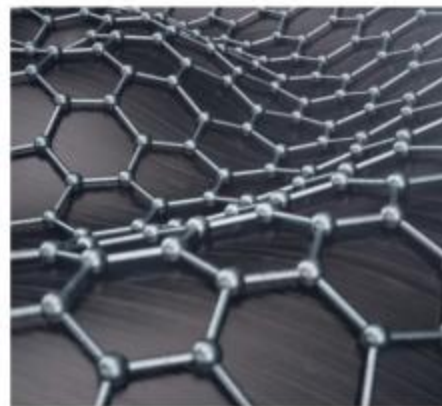
Prix : env. 170 €. Rens. : www.inov-8.com

Alléger les chaussures de sport sans en altérer les performances ni la durabilité : c'est l'objectif de cette gamme G-Series, conçue par la marque britannique Inov8. Pour ce faire, l'entreprise s'est adjoint les services de l'université de Manchester (Royaume-Uni) pour intégrer du graphène au caoutchouc de ses baskets.

Déjà utilisé dans le domaine médical et dans l'industrie aéronautique, ce matériau 2D cristallin, composé d'atomes de carbone, est le plus fin qui soit sur Terre. Et même s'il est environ 200 fois plus dur que l'acier, le graphène n'en demeure pas moins élastique ! Il permet d'assurer une bonne accroche au sol en toutes circonstances. Le résultat promis par cette nouvelle technologie impressionne : selon

Inov8, ces chaussures seraient beaucoup plus légères (entre 230 g et 280 g), les semelles 50 % plus résistantes – elles tiendraient durant quelque 1 600 km de course – et l'ensemble serait bien plus flexible que n'importe quelles autres chaussures de sport standard du marché.

A.L.D.



Le graphène est un matériau 2D cristallin composé d'atomes de carbone. Il allie légèreté, élasticité et solidité.



Le drone compact qui fait tout comme un grand

Prix : env. 700 €
Rens. : <https://anafi.parrot.com/>

Anafi ne pèse que 320 g et mesure, plié, 244x67x65 mm. Mais le dernier-né de chez Parrot a de quoi concurrencer les ténors de la catégorie. Ce drone repose en effet sur un châssis en polyamide renforcé par de la fibre de carbone, et ses hélices en polycarbonate le propulsent à 55 km/h et jusqu'à 4 km de distance. Sa caméra 4K HDR est stabilisée sur trois axes et autorise le zoom numérique sans perte jusqu'à 2,8x grâce à un capteur Sony de 21 Mpx. La télécommande accueille un smartphone, qui permet de piloter le drone grâce à une appli dédiée et d'utiliser les fonctions préprogrammées. L'autonomie de sa batterie LiPo est de 25 min.

B.P.





Tout au long de la course, la forme de la pointe des chaussures s'adapte en temps réel aux mouvements et aux gonflements naturels du pied.

Une maille respirante et revêtue de Kevlar, matériau utilisé notamment dans les gilets pare-balles, assure l'aération et la très grande durabilité des chaussures.

La structure des modèles G-Series ne bloque pas les articulations de la cheville, ce qui permet de restituer la sensation de courir pieds nus.

Un skate unique 100 % recyclable

Prix : env. 130 €
Rens. : <https://vai-ko.com/pages/welcome-uitto-boards>

La compagnie finlandaise Vai-Kø relance la traditionnelle planche de skate en bois à l'aide d'un matériau biocomposite à base de granulés de polypropylène et de fibres de bois. Cette planche, assez lourde (1,4 kg), résiste à l'eau, aux moisissures, à la déformation, et est 100 % recyclable. Elle peut en effet être broyée pour redonner des granulés qui serviront à fabriquer une nouvelle planche. Et chacune sera dotée d'un design unique puisque ces granulés se positionnent différemment à chaque moulage. **S.F.**



PROTOTYPE



Une voiture imprimée en 3D

Rens. : www.polymaker.com

La marque chinoise Polymaker et la start-up italienne XEV se sont associées pour concevoir la LSEV, le prototype d'une petite voiture électrique biplace de 450 kg. Imaginée pour être, à terme, fabriquée en série, elle pourra être produite en un temps record (trois jours maximum!), via l'impression 3D, en recourant à plusieurs matériaux : nylon, acide polylactique ou encore polyuréthane. Cette technique, qui limite les déchets et les coûts de production, s'avère plus simple qu'une fabrication classique. Elle repose sur l'assemblage de 57 composants seulement, contre plusieurs milliers pour une voiture actuelle. Seuls quelques éléments de la LSEV ne seront pas imprimés : pneus, vitrages, sièges, châssis, moteur, batterie. Les premiers modèles pourraient être commercialisés d'ici un an. **B.P.**

Des lunettes anti-mal des transports

Prix : env. 100 €. Rens. : www.lifestyle.citroen.com

Citroën s'est associé à la start-up varoise Boarding Ring pour mettre au point ce dispositif médical contre le mal des transports. Ce trouble provient du décalage de perception entre la vue et le sens de l'équilibre. Attention jeu de mots! La monture sans verre Seetroën est utilisable par-dessus une paire de lunettes de vue. Le liquide bleu qu'elle contient simule un horizon artificiel et se déplace de gauche à droite et d'avant en arrière, ce qui permet de resynchroniser vue et oreille interne. Cela marcherait dans 95 % des cas, promet le constructeur. **E.T.-A.**



Du mobilier gonflable et transportable

Prix : à partir de 195 €
Rens. : www.mojow-mobiliers.com

Le français Mojow propose un concept de meubles hybrides : structure en aluminium, dossiers et assises gonflables en PVC souple et résistant. Ils sont modulables, utilisables à l'intérieur ou à l'extérieur, et faciles à transporter : un fauteuil affiche moins de 9 kg et un canapé 13 kg. Ils sont livrés avec un gonfleur électrique.

B.P.



Le super-calculateur qui fait aussi radiateur

Prix : env. 2 900 € pour le crypto-radiateur
Rens. : www.qarnot.com

Production de chaleur et calculs numériques. Voici le double effet du premier radiateur-calculateur conçu par la société française Qarnot. C'est en voulant rendre un ordinateur silencieux – et donc supprimer son ventilateur, dissipateur de chaleur – que l'idée a germé dans la tête des fondateurs. Pourquoi ne pas utiliser la chaleur produite par les simulations numériques de plus en plus gourmandes plutôt que de la contrer ? Voilà chose faite avec le radiateur numérique QH.1, qui a troqué ses résistances électriques pour des microprocesseurs plaqués contre un dissipateur de chaleur. Résultat : branchés en réseau et connectés au wi-fi, pour régler la température via une application mobile, les radiateurs réalisent les lourds calculs numériques nécessaires aux labos ou aux entreprises tout en chauffant leur bâtiment. Si le QH.1 est dédié aux professionnels, les particuliers bénéficieront d'un modèle qui, grâce à deux cartes graphiques, chauffera leur maison tout en participant aux calculs de la Blockchain ; ils seront en retour rémunérés en crypto-monnaie.

A.P.



L'énergie générée par les microprocesseurs est récupérée par un dissipateur de chaleur.

Une double porte pour un four 2 en 1

Prix : à partir de 800 €. Rens. : www.samsung.com



La gamme de fours Twin Convection (75 litres) de Samsung permet de cuisiner deux plats simultanément grâce à une plaque de séparation amovible et une double porte permettant d'ouvrir la partie supérieure seule sans altérer la cuisson du bas. Il suffit d'actionner une gâchette sur la poignée. Le four à chaleur pulsée permet une cuisson jusqu'à 80°C dans la partie haute.

A.C.





Des bouchons d'oreilles miniaturisés et connectés

Prix : env. 250 €. Rens. : www.bose.com

Les Sleepbuds, écouteurs sans fil Bose, se destinent à ceux qui ont du mal à s'endormir à cause du bruit. Leur design est compact (2,4x2,7 cm) et le maintien assuré par une ailette qui se place au niveau de la conque de l'oreille. Les embouts sont quant à eux légèrement plus gros que ceux d'écouteurs classiques, ce qui permet une isolation passive des bruits environnants. L'isolation sonore est complétée par une dizaine de sons préenregistrés (cascade, forêt...) émis à une fréquence judicieusement choisie pour masquer les voix et les ronflements; ils sont paramétrables grâce à une application mobile. Ces écouteurs existent en trois tailles (S/M/L) et s'adaptent à la plupart des formes d'oreilles. **A.C.**

Une maison écologique sur roues

Prix : à partir de 23 500 €
Rens. : www.latinyhouse.com

Vous rêvez d'un pavillon transportable ? La Tiny House comblera vos souhaits. Bois local et non traité, isolation végétale à l'aide d'un mélange de lin, chanvre et coton, toilettes sèches, filtration des eaux grises, cuve d'eau intérieure de 100 à 200 litres, câbles blindés, raccord à la terre..., chaque Tiny House (de fabrication française) est réalisée sur mesure en fonction des besoins du client. Avec une surface au sol de 10 à 15 m² – 4 à 6 m de long pour 3,5 t – à laquelle une ou deux mezzanines de 5 à 7 m² peuvent s'ajouter, quatre personnes s'y logent. Montées sur remorque, ces micro-maisons ne nécessitent pas de permis de construire. Libre à chacun, ensuite, de rendre sa toute petite maison autonome en énergie. **A.P.**



Dans le texte
tous les verbes
ceux qui indiquent

C-PEN™

MENU

↶/⏻

Le stylo qui lit à haute voix

Prix : env. 260 €
Rens. : www.mysoft.fr

Voici le ReaderPen de Mysoft. Ce petit stylo de 48 g est idéal pour pallier les difficultés de lecture. Il permet de surligner n'importe quel texte pour qu'il soit instantanément analysé par reconnaissance optique de caractères, puis lu à haute voix par l'intermédiaire du haut-parleur intégré ou des écouteurs fournis. Plusieurs lignes peuvent être mémorisées et lues d'un seul trait. Outre qu'il est paramétrable (langue, vitesse de lecture...), le ReaderPen permet aussi la prise de notes vocales ou le scan de documents... Malin! **E.T.-A.**

LIVRE & FILM

Et l'humanité conquiert l'espace

Voici l'histoire de l'astronautique, à travers le regard du plus grand et du plus impassible de ses héros : Neil Armstrong. *First Man*, l'un des films très attendus de 2018, nous plonge dans l'incroyable aventure technologique qui, en vingt ans, a métamorphosé les avions en fusées et offert à l'humanité son "grand pas" sur la Lune. Rencontre avec James R. Hansen, dont la belle biographie de Neil Armstrong ayant inspiré le film est rééditée.

PROPOS RECUEILLIS PAR **MATHILDE FONTEZ**



S&V : Le film de Damien Chazelle et une réédition de votre biographie de Neil Armstrong sortent ce mois-ci. Avez-vous travaillé sur le film ?

James R. Hansen. :
Oui ! J'ai relu tous les scénarios – il y en a eu une vingtaine ! – et rédigé des centaines de pages de commentaires. J'ai assisté au tournage presque tous les jours. Le scénariste Josh Singer, et l'acteur Ryan Gosling, qui joue Neil Armstrong, ont lu énormément sur le sujet. Il y a une littérature très abondante sur la Nasa et le programme lunaire. Mais je suis le seul à avoir travaillé directement avec Armstrong.



JAMES R. HANSEN
Historien de l'astronautique à l'université Auburn (États-Unis).

Je pense qu'aucun film à propos de l'exploration spatiale n'a jamais impliqué autant d'experts et de consultants

Hollywood a été intéressé par mon livre avant même que je l'aie écrit !

S&V : Votre biographie a été publiée en 2005. Pourquoi a-t-il fallu attendre si longtemps ?

J.H. : La plupart des premiers astronautes américains avaient déjà publié leur autobiographie ou travaillé avec des auteurs dès les années 1990... Mais Neil Armstrong était un homme très discret, refusant toutes les sollicitations. Il avait 72 ans quand il m'a donné son accord. Cela faisait alors presque trois ans que nous correspondions. Le fait que je sois historien, spécialiste

des technologies, a été déterminant. Neil était avant tout un ingénieur. Comme il l'a dit lui-même : "Je suis et serai toujours cet ingénieur aux airs de premier de la classe, avec ses chaussettes blanches et son stylo dans la poche de chemise." Il voulait un récit très détaillé sur les aspects techniques.

S&V : Ces détails vous permettent de décrire le passage progressif, dans les années 1950-1960, de l'aviation à l'astronautique, à travers la trajectoire d'Armstrong.

J.H. : C'est l'un des points majeurs de la biographie.



FILM

- **First Man**
- De Damien Chazelle, avec Ryan Gosling, Claire Foy...
- Sortie le 17 octobre

LIVRE

- **Le Premier Homme : la vie de Neil A. Armstrong**
- De James R. Hansen
- Éditions Michel Lafon, 480 p., 20,95 € (le 11 octobre)

Le *timing* de la vie de Neil Armstrong était tel qu'il a évolué en même temps que la technologie. Enfant, il ne pensait qu'aux avions [NB : il a obtenu son

brevet de pilote avant son permis de conduire]. Son grand regret, alors qu'il était jeune adulte, était d'être né une génération trop tard, d'avoir manqué de peu la grande époque de l'aviation et les aventures incroyables qui y étaient liées ! Il est allé à l'université pour étudier l'ingénierie aéronautique, a été pilote de chasse, puis pilote d'essai, "pilote-chercheur" comme on disait à l'époque. Sa mission consistait à faire avancer l'aviation sur tous les fronts, tant scientifique que technologique. Sa transition vers l'espace, pour devenir astronaute a été un pur produit des développements technologiques de l'époque, des avions aux jets et aux fusées.

S&V : Le film lui aussi fait la part belle à ces aspects technologiques, aux essais et tâtonnements qui ont finalement amené au succès d'Apollo 11.

J.H. : Oui, je suis très fier de cela. Je pense qu'aucun film à propos de l'exploration spatiale n'a jamais impliqué autant d'experts et de consultants. Damien Chazelle et le reste de l'équipe voulaient faire un film aussi réaliste que possible... Mais aussi un grand drame et une expérience cinématographique. Le film réunit tout cela !

EXPOSITION

- **Cités millénaires – Voyage virtuel de Palmyre à Mossoul**
- Institut du monde arabe (Paris 6^e)
- Du 10/10/2018 au 10/02/2019



Découvrez les édifices architecturaux et sites archéologiques d'Alep, Palmyre, Mossoul et Leptis Magna grâce à des projections géantes, et remontez le temps pour en découvrir les structures originelles. Baladez-vous aussi dans six de leurs monuments emblématiques spectaculairement reconstitués par réalité virtuelle. Une immersion dans un patrimoine menacé, voire disparu. **T.C.-F.**

LIVRE

- **Imprécis de vocabulaire mathématique**
- De Léo Larroche, dessins Jean-Pierre Larroche
- Les éditions d'Athéna, 132 p., 22 €



Argument "magique", calcul "bourrin", résultat "trivial", exemple "pathologique", fonction "sauvage"... Ce livre vous explique pourquoi ces drôles de mots sont essentiels à la pratique mathématique. Quarante-sept adjectifs y sont présentés à travers de petites scènes de théâtre inspirées de conversations entre chercheurs de l'université de Nantes. La preuve que les maths sont une activité collective profondément humaine. **H.P.**



À VOUS DE JOUER

LES SOLS ONT BESOIN DE VOS YEUX

Avec le protocole **Panier à vers de Terre** de l'Observatoire participatif des vers de Terre (OPVT), ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/protocole-participatif-paniers-a-vers-de-terre, aidez les scientifiques à mesurer l'impact des lombrics sur les sols.

Fabriquez vous-même quatre "paniers" avec du grillage, déposez-les ensuite dans votre jardin et ajoutez-y de la paille. Vous constaterez alors sa disparition progressive... Où est-elle passée ? Mangée, digérée, enfouie par les lombriciens, la paille s'est simplement transformée en terre ! Comptez les turricules (déjections) et les "cabanes à vers" (amas de paille), prenez une photo, puis renouvelez l'expérience tous les quinze jours, d'octobre à mars. Grâce à vous, les chercheurs pourront étudier l'activité de ces ingénieurs du sol. Sachez aussi que plus ça travaille sous vos pieds, plus votre jardin est en bonne santé !

Hugo Struna du Muséum national d'histoire naturelle

Un objet est visible à partir de combien d'atomes ?

Question de Bruno Cardi, Blanzzy (71)

Tout dépend bien sûr de la distance à laquelle l'objet se trouve. Imaginons qu'il soit à 30 cm des yeux. Bruno Chassagne, expert à l'Institut d'optique d'Aquitaine, fait le calcul : "Pour une personne avec une vision oculaire parfaite, le pouvoir de résolution angulaire de l'œil, soit l'angle de vue minimum qui doit séparer deux points contigus pour qu'ils soient correctement discernés, est de 0,00029 radians. À 30 cm de distance, le plus petit détail que l'on peut discerner mesure donc $30 \times 0,00029$ cm, soit $87 \mu\text{m}$ (micromètres). En prenant un diamètre atomique de 0,1 nm (nanomètre) [le diamètre

d'un atome d'hydrogène est de 0,106 nm; celui d'un atome d'oxygène de 0,12 nm, ndr], cela représente 870 000 atomes placés côte à côte." Et si on suppose que l'objet en question est une sphère, alors il contiendrait environ 30 000 milliards d'atomes !

QUESTION DE LUMINOSITÉ

Mais en fait, il y a une réponse plus radicale : un atome seul peut être visible à l'œil nu, pour peu qu'il émette assez de lumière. "Tout objet émettant de la lumière peut être visible, tout est une question de luminosité, explique Patrick Ferrand, physicien spécialiste en microscopie à l'Institut Fresnel de Marseille. Un seul atome

peut donc être observé par l'œil humain s'il est suffisamment fluorescent." La preuve ? Dans son laboratoire de l'université d'Oxford, le physicien David Nadlinger a maintenu un atome de strontium entre deux électrodes grâce à un champ électrique puissant, avant de l'éclairer avec un laser bleu-violet. L'atome a absorbé puis réémis cette lumière... devenant ainsi visible à l'œil nu : malgré sa taille minuscule de 0,4 nm, soit 0,4 milliardième de mètre – un million de fois plus fin qu'un cheveu ! – sans l'aide d'aucun instrument d'optique. La photographie du dispositif en témoigne, de manière spectaculaire. **D.Z.**



> Des physiciens d'Oxford ont rendu visible un atome de strontium (0,4 nm !) en l'éclairant avec un laser.



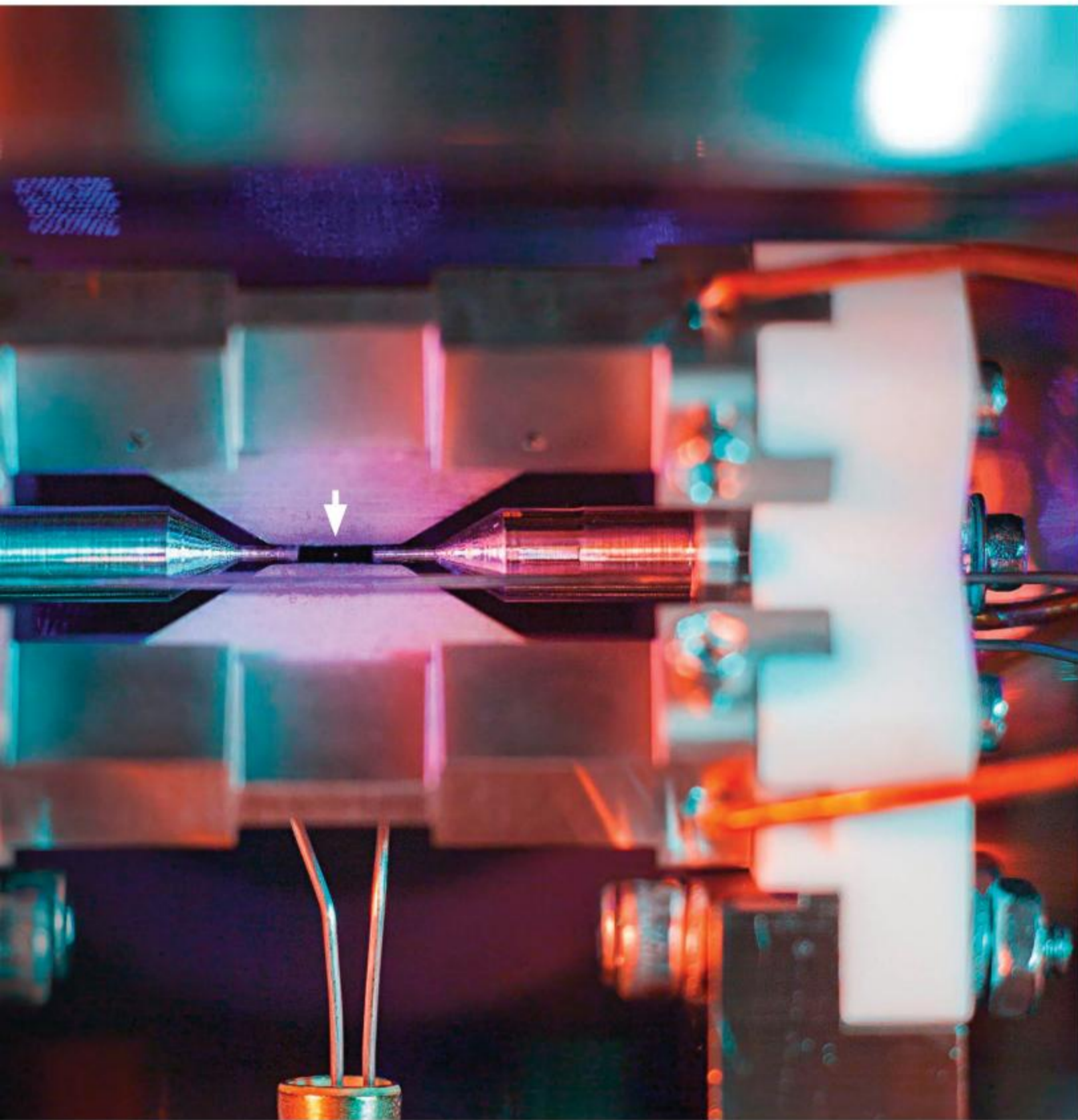
△ Les cellules de graisse ne stockent que très peu d'eau.

Notre corps contient-il des

Question de Georges Kirilov, Valbonne (06)

Non. À la différence de certains animaux comme le dromadaire et le chameau, qui stockent de l'eau dans l'estomac et le sang, aucun de nos tissus corporels n'est capable de compenser une privation d'eau. Même la graisse, cette réserve d'énergie

dans laquelle notre organisme puise lorsqu'il est privé de nourriture, n'est d'aucune utilité en cas de déshydratation, car le peu d'eau qu'elle renferme n'est pas mobilisable dans cette situation. Une étude de 2014 a montré que sur 10 kg de graisse que l'on



réserves d'eau ?

perd lorsque l'on se prive de nourriture, 8,4 kg se transforment en dioxyde de carbone, évacué par la respiration, et 1,6 kg donne de l'eau. Sauf que l'on meurt de soif avant d'avoir brûlé ses graisses ! Le corps contient en effet le volume d'eau juste nécessaire à sa constitution et à ses besoins (régulation de la tempéra-

ture via la transpiration, élimination des déchets via l'urine), réparti partout dans le corps, en particulier dans les reins, le sang, le cœur et les poumons, les organes les plus riches en eau. Les animaux qui hibernent ne survivent sans boire qu'en réduisant leur activité métabolique et, par là, en réduisant leurs besoins. "Lorsque

notre corps manque d'eau, la seule solution est d'en boire, conclut Laurence Plumey, médecin nutritionniste. Il faut absorber quotidiennement le volume d'eau perdu." Voilà pourquoi on peut résister au jeûne jusqu'à quelques semaines, alors qu'on ne survit guère à plus de trois jours de privation d'eau. **N.P.**

Que devient un mail qui n'arrive jamais à son destinataire ?

Question de Jean-Paul Petit, Caveirac (30)

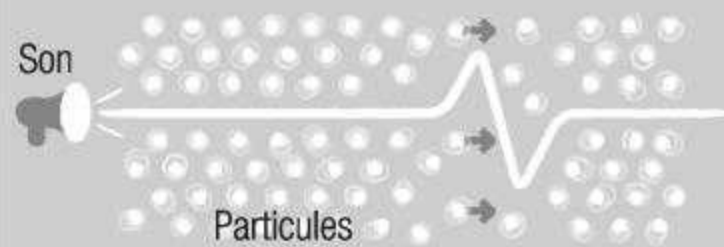
Il retourne à l'expéditeur... instantanément. C'est un protocole informatique très simple, conçu aux débuts d'Internet, qui déclenche le processus de manière automatique : le mail revient à son expéditeur tel qu'il l'a envoyé, accompagné d'un message d'erreur. "Un mail ne peut pas s'égarer ou disparaître dans le vide, puisque aucun message n'est stocké entre l'expéditeur et le destinataire", précise Baptiste Jamin, cofondateur du support client de messagerie en ligne Crisp. Boîte de réception pleine, pièce jointe trop lourde, erreur dans l'adresse mail... les raisons de la non-délivrance d'un mail sont nombreuses. Mais aucun des messages non parvenus ne continue de hanter les réseaux. **A.L.D.**



La vitesse du son est-elle la même sur toutes les planètes ?

Question de Georges Kirilov, Valbonne (06)

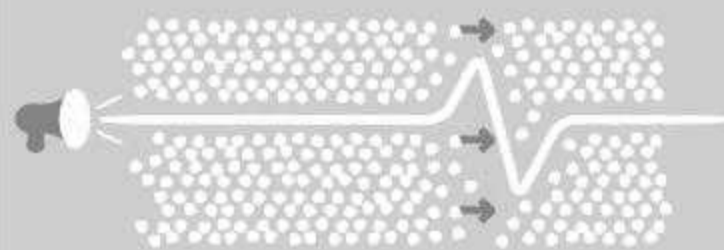
Non, bien sûr. Car le son est une perturbation, une vibration de particules dont la diffusion dépend grandement du milieu dans lequel elle se propage. Ainsi, au sein même de l'atmosphère terrestre, sa vitesse varie entre 340 m/s au sol et 280 m/s à 100 km d'altitude. Et dans l'eau, elle est 4 fois plus élevée. En particulier à cause de trois paramètres qui jouent sur la rigidité du milieu, en clair sur la capacité de ses molécules à se mettre en mouvement et donc à transmettre l'onde sonore. Lorsque celle-ci se propage, la masse volumique du milieu change. Et l'amplitude de cette modification, le rapport entre le changement de pression et le changement de masse volumique, va définir la vitesse de l'onde sonore. **B.R.**



Le son se propage d'autant plus vite que...

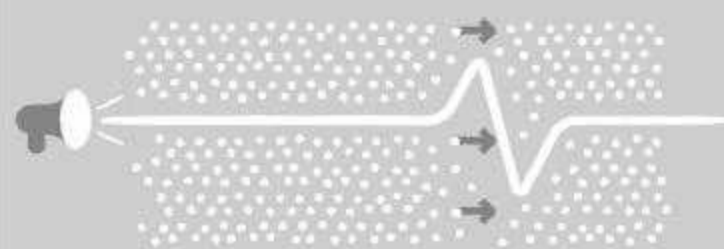
... la température est élevée

Plus les particules sont chaudes, plus elles sont agitées : leur vitesse est plus élevée et elles se déplacent plus facilement.



... la pression est élevée

Plus les molécules sont proches les unes des autres, plus elles s'entrechoquent facilement, transmettant l'onde sonore plus vite.



... les particules ont une masse faible

Moins les molécules sont massives, moins elles résistent aux mouvements qui leur sont imposés, propageant plus rapidement l'onde sonore.

Pourquoi les dinosaures marins ont-ils disparu ?

Question de Bernard Mahe, Saint-Joachim (44)

Soulignons d'abord que les dinosaures n'étaient pas à proprement parler des animaux marins. "Ils pouvaient patauger mais probablement pas nager", explique Peggy Vincent, paléontologue au Muséum national d'histoire naturelle. Cela dit, on pourrait penser que les grosses espèces

marines auraient dû être protégées de la chute des deux grandes météorites – au Mexique et en Ukraine – et de la suractivité volcanique qui ont provoqué l'extinction des dinosaures, il y a 66 millions d'années... Sauf que les crises environnementales majeures ainsi

déclenchées ont aussi eu des effets sous l'eau. Ainsi, les mosasaures, sortes de lézards aquatiques géants (jusqu'à 18 m) et les plésiosaures (qui ont inspiré le monstre du Loch Ness) ont bel et bien disparu à ce moment-là. "Et l'explication la plus plausible est aussi celle d'un épuisement de leurs ressources alimentaires", indique Peggy Vincent. En provoquant des tremblements de terre, des tsunamis, de fortes chaleurs, puis un refroidissement soudain,

les météorites auraient bien eu un impact sur la faune sous-marine.

ACIDIFICATION DES OCÉANS

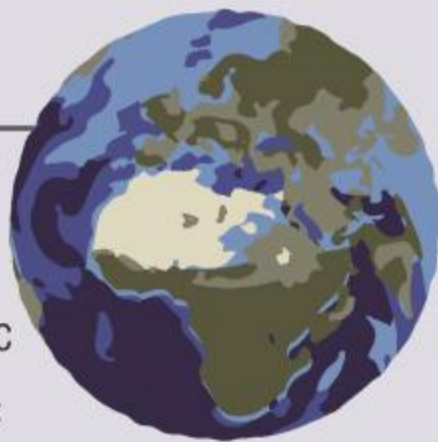
Et les éruptions volcaniques, libérant de grandes quantités de dioxyde de carbone, auraient provoqué une forte acidification des océans. "Cela a pu causer d'importants dégâts sur les animaux sensibles aux variations du pH – planctons à coquille calcaire, ammonites –, avec des répercussions sur le reste de la chaîne

Terre

Vitesse du son* :
340 m/s



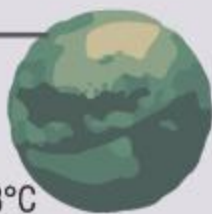
Température : 15°C
Pression : 1 bar
Masse volumique :
1,3 kg/m³



Titan

210 m/s

Temp. : -178°C
Pression : 1,5 bar
Masse volumique :
5,5 kg/m³



Jupiter

210 m/s

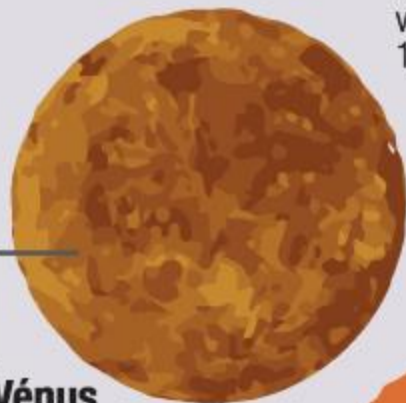
Temp. : -110°C
Pression : 1 bar
Masse
volumique :
1,3 kg/m³



Vénus

410 m/s

Température : 457°C
Pression : 90 bars
Masse volumique :
65 kg/m³



Mars

240 m/s

Température : -50°C
Pression : 0,007 bar
Masse volumique :
0,02 kg/m³



*Vitesse donnée au sol (et dans l'atmosphère pour Jupiter)

alimentaire", détaille la chercheuse. Quant aux ichtyosaures – qui ressemblaient aux dauphins –, ils ont disparu vingt millions d'années plus tard, sans doute à cause des volcans. "Le relargage de gaz à effet de serre semble avoir entraîné alors une hausse des températures qui, combinée à celle du niveau de la mer, a ralenti la circulation des eaux marines, causant un appauvrissement en oxygène néfaste aux êtres vivants fixés sur les fonds marins ou dans la

tranche d'eau la plus basse", expose Peggy Vincent. Dans cet écosystème changeant qui a vu apparaître nombre d'espèces en peu de temps, où leur source de nourriture s'est réduite et la concurrence d'autres vertébrés a fait rage, les ichtyosaures n'auraient pas trouvé leur place. À noter que la famille des reptiles marins à laquelle appartiennent ces trois animaux n'a pas totalement disparu, les tortues et les crocodiles en témoignent. **G.S.**

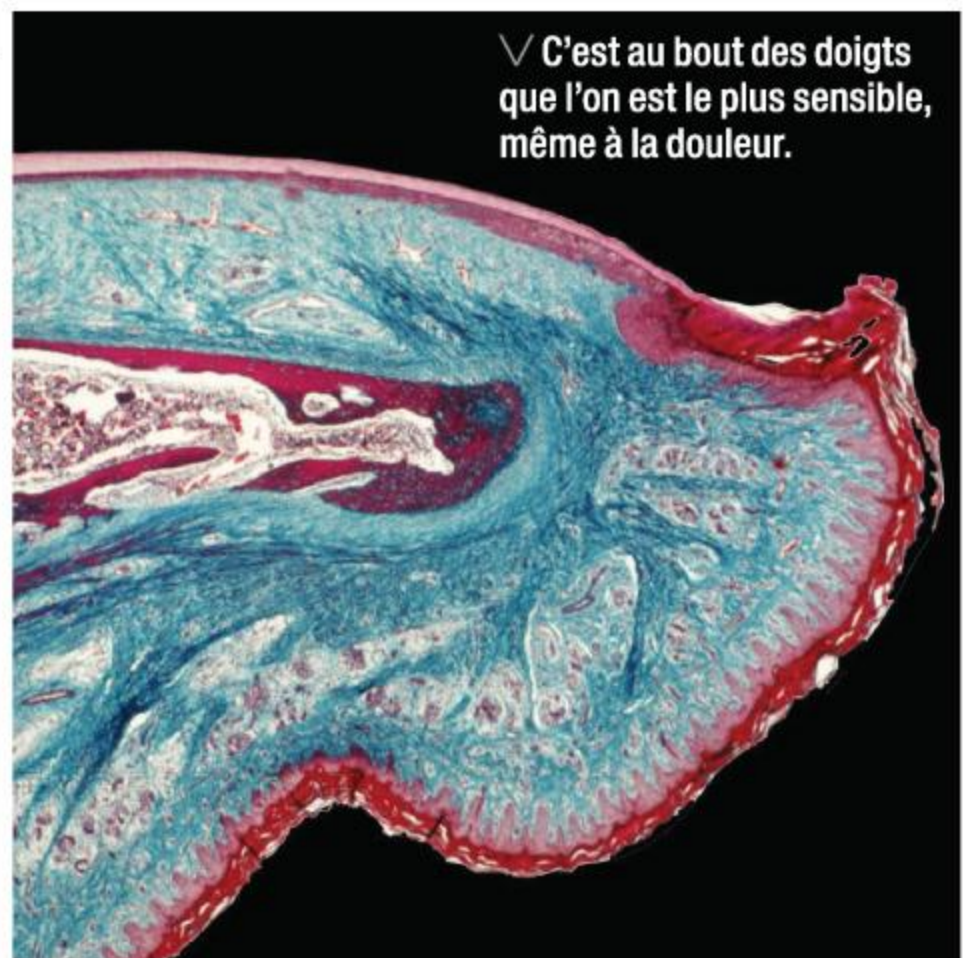
Quel est l'endroit du corps le plus sensible ?

Question de Patrick Mignot, Lacrost (71)

Le bout des doigts de la main arrive largement en tête ! C'est un médecin allemand nommé Ernst Weber qui l'a montré dès 1834, en mesurant la plus petite distance perçue entre deux points de stimulation sur différentes parties du corps à l'aide d'une sorte de compas. À cet endroit, la sensibilité est de seulement 2 mm. Puis viennent les paumes, le visage, les orteils et enfin la plante des pieds. À l'inverse, les cuisses et les épaules font partie des zones les moins sensibles. Mais attention, on parle ici de sensibilité... et non de douleur ! Car lorsque le toucher, plus intense, devient douloureux, ce sont des récep-

teurs spécifiques qui prennent le relais : de petites fibres nerveuses, les nocicepteurs. Ce n'est qu'en 2014 qu'une équipe de chercheurs britanniques et italiens, dirigée par Flavia Mancini, a dressé une première cartographie de cette sensibilité à la douleur, en appliquant des stimulations avec un faisceau laser chaud sur onze parties du corps de 26 personnes. Résultat : le bout des doigts et la paume des mains restent en haut du podium. Mais ils sont suivis par le front, la plante des pieds et l'épaule. Et ce sont le dessus des pieds, le mollet et la cuisse qui s'avèrent les moins sensibles. **N.P.**

✓ C'est au bout des doigts que l'on est le plus sensible, même à la douleur.





< En surface, les liaisons entre les molécules d'eau sont fortes sur les côtés.

Quand elle est à ras bord, pourquoi l'eau enfle au lieu de déborder ?

Question de Teddy Petitjean, Saint-Mihiel (55)

Ce phénomène surprenant est dû à une propriété, la tension superficielle, qui apparaît à l'interface entre un liquide et un gaz... et qui est très intense pour l'eau. *"Les molécules d'un liquide ne cessent de former des liaisons faibles les unes avec les autres. Dans l'eau, ces liaisons, ou ponts hydrogène, sont particulièrement fortes"*, pointe José Teixeira, spécialiste de l'eau au CEA. En profondeur dans le liquide, les molécules sont attirées de tous côtés par leurs sem-

blables. Mais à la surface, elles ne sont attirées que vers le côté et vers le bas, vers l'intérieur du verre. Leurs liaisons à l'interface s'en trouvent donc renforcées et il se forme une sorte de peau, sous tension... superficielle. Ainsi, il peut se former un bourrelet d'eau résistant à la gravité au-dessus des bords du verre. C'est également ce phénomène qui permet aux gouttes de rester solidaires au lieu de s'écouler, et aux insectes – ainsi qu'aux lézards – de marcher sur l'eau! **N.P.**

Avoir les yeux dans le vide les repose ?

Question de Virgile Chauvin, Saint-Georges-sur-Moulon (18)

Eh non! *"Au contraire, cela peut même leur nuire"*, précise Gilles Renard, directeur scientifique de la Société française d'ophtalmologie. De fait, regarder dans le vide n'est en rien une stratégie mise en place lors de l'évolution pour reposer l'œil et lutter ainsi, par exemple, contre la myopie. Certes, les tissus à la surface de l'œil – la cornée et la conjonctive,

cette membrane qui recouvre le blanc de l'œil – ont besoin d'un temps de repos, sans quoi ils se dessèchent, ce qui trouble la vision et entraîne une altération de la cornée. Mais voilà, *"le repos de la surface de l'œil se fait, en période d'éveil, via les clignements de la paupière et, lors du sommeil, par le fait d'avoir les paupières fermées; deux mécanismes qui*

favorisent la production d'un film lacrymal qui lubrifie la surface de l'œil", explique Gilles Renard. Or, quand on a les yeux dans le vague, ils sont au contraire grands ouverts... et donc sujets au dessèchement. En revanche, pendant ce temps, le cerveau se repose: il cesse d'analyser en permanence les influx nerveux en provenance des yeux pour donner sens à ce que nous voyons, un réflexe en cas de fatigue. **K.B.**

GAGNEZ UN ABONNEMENT D'UN AN À

SCIENCE&VIE

Cette rubrique est la vôtre, écrivez-nous!

Nous ne pourrons répondre à tous, mais les auteurs des questions sélectionnées se verront offrir un abonnement d'un an à *Science & Vie* (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à: sev.qr@mondadori.fr ou bien par courrier à:

SCIENCE & VIE QUESTIONS/RÉPONSES

8, rue François-Ory
92543 MONTROUGE CEDEX

PROFITEZ DE **SCIENCE&VIE** EN ILLIMITÉ

ABONNEZ-VOUS !

FORMULE INTÉGRALE

Le magazine en version papier et numérique + le site et l'appli en illimité



1 n° par mois



6 HS par an



L'accès au site Science&Vie



L'enceinte Bluetooth®

5€20

par mois seulement

au lieu de ~~8,70€*~~



Chaque jour sur notre site

des **infos exclusives réservées aux abonnés !**

- ✓ Accès illimité aux contenus du site
- ✓ 10 ans d'archives **SCIENCE&VIE**
- ✓ Le magazine en version numérique
- ✓ Des webinaires mensuels et des podcasts

BULLETIN D'ABONNEMENT

à retourner sous enveloppe affranchie à : Service abonnements Science&Vie - CS 90125 - 27091 Evreux Cedex 9



Découvrez toutes nos offres sur

KiosqueMag.com

1 Je choisis mon offre d'abonnement :

La formule intégrale : **-40%**

Science&Vie chaque mois + 6 hors-séries par an + l'accès au site + l'enceinte Bluetooth® pour 5,20€ par mois au lieu de 8,70€*.

[982884]

Résilliable à tout moment sans frais. Tarif garanti 1 an, après il sera de 5,55€ par mois.

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

IBAN : _____

BIC : _____ 8 ou 11 caractères selon votre banque

Vous autorisez Mondadori Magazines France, société éditrice de Science&Vie à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Mondadori Magazines France. Créancier : Mondadori Magazines France 8, rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex 09 France Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

Les offres 1 an :

La formule avec HS : 1 an - 12 n° + 6 HS + l'accès au site + l'enceinte pour 69,90€ au lieu de 104,40€. **-33%** [982892]

La formule sans HS : 1 an - 12 n° + l'accès au site pour 47,90€ au lieu de 54€. **-11%** [982900]

Je choisis mon mode de paiement :

Par chèque bancaire à l'ordre de Science&Vie

Par CB : _____

Expire fin : ____ / ____ / ____ Cryptogramme : _____

2 J'indique mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

CP : _____ Ville : _____

Tél. : _____ Mobile : _____

Email : _____

Indispensables pour gérer mon abonnement et accéder aux services numériques.

- J'accepte d'être informé(e) des offres des partenaires de Science&Vie (groupe Mondadori).
- J'accepte de recevoir des offres de nos partenaires (hors groupe Mondadori).

Dater et signer obligatoirement :

À : _____

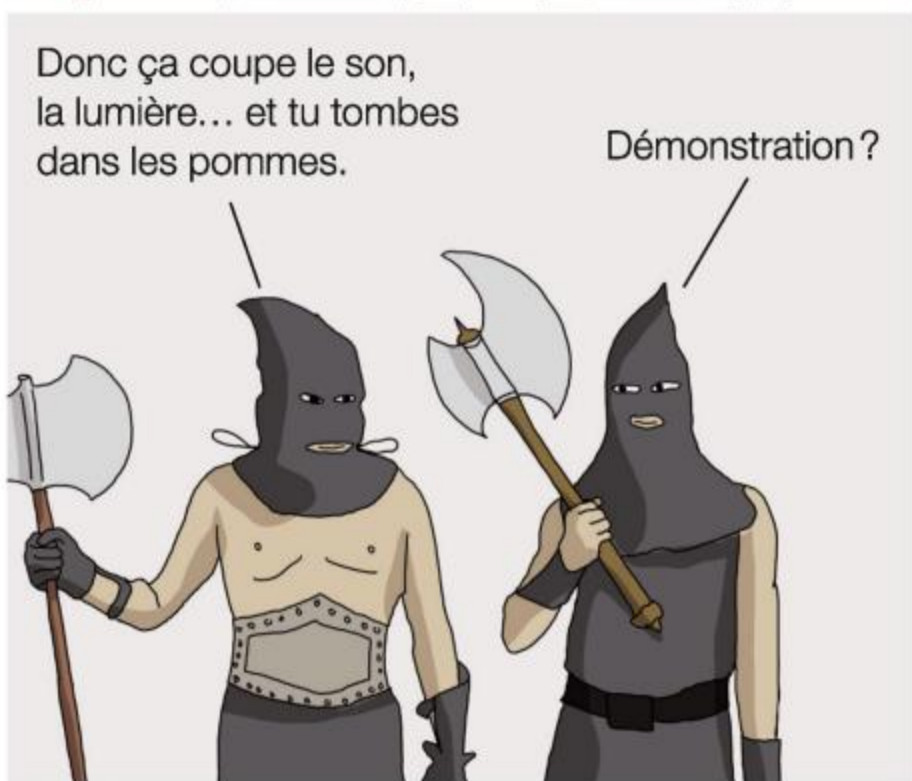
Date : ____ / ____ / ____

Signature : _____

*Prix de vente en kiosque. Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 31/12/2018. Vous pouvez acquérir séparément Science&Vie au prix de 4,50€, ses Hors-Séries au prix de 5,90€ et l'enceinte au prix de 15€ [982876] frais de port non inclus. Votre abonnement et votre enceinte vous seront adressés dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. En cas de rupture de stock, un produit d'une valeur similaire sera proposé. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine et de l'enceinte en notifiant clairement votre décision à notre service abonnements ou via le formulaire de rétractation accessible dans nos CGV sur le site www.kiosquemag.com. Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à Mondadori Magazines France pour la gestion de son fichier clients par le service abonnements. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent en écrivant à l'adresse d'envoi du bulletin.



D'après une question de **Thérèse Amiel, internet**



PAR ANNE DEBROISE - ILLUSTRATION ALBAN PÉRINET/DÉCAPAGE

LE MAG

DE LA SCIENCE

Présenté par **Jérôme Bonaldi**
Tous les dimanches à 19h

SCIENCE & VIE TV

la chaîne pour comprendre

@ScienceetvieTV
www.science-et-vie.tv

DISPONIBLE SUR :

CANAL



free

SFR

bouygues



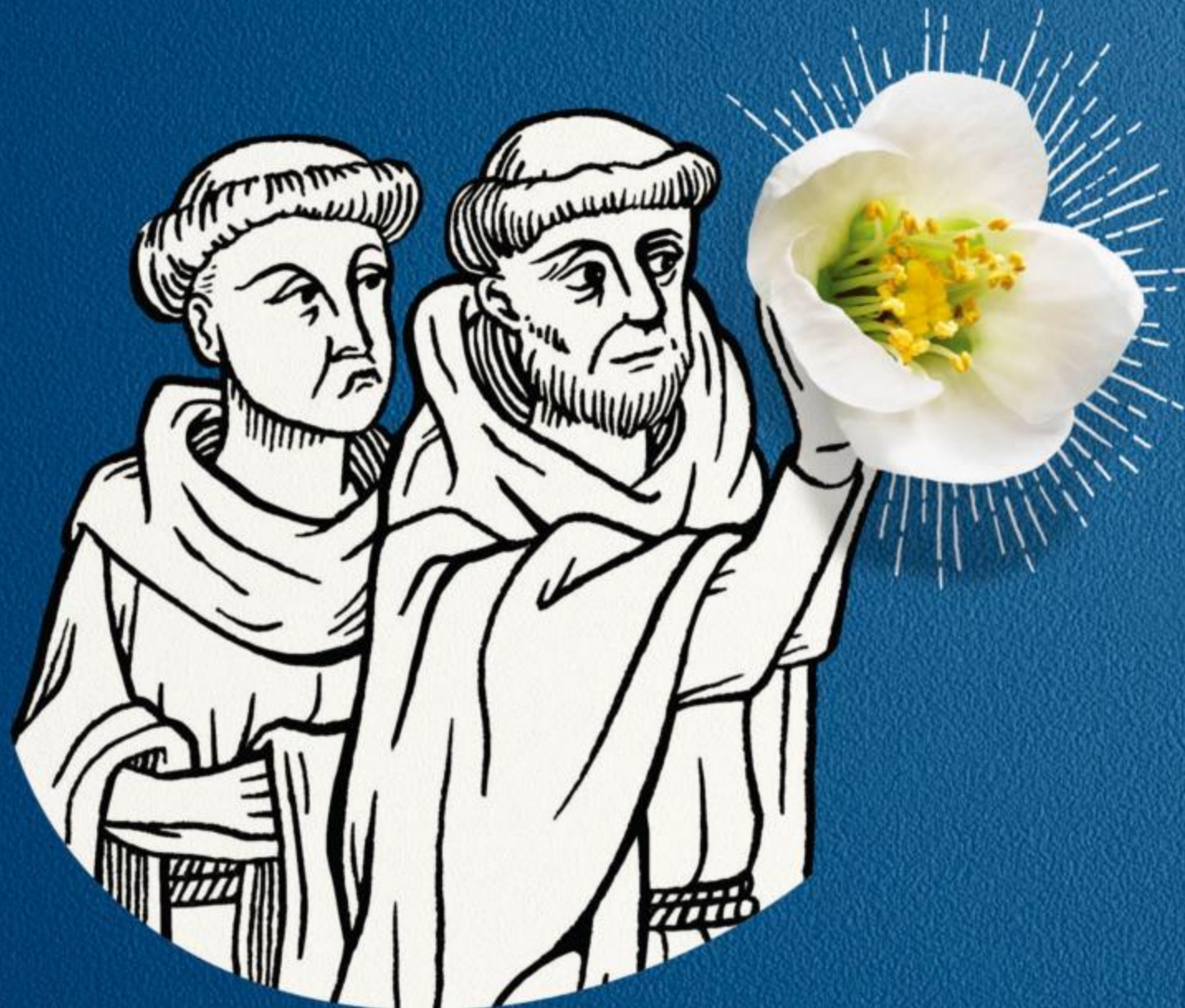
B/S

molotov

WATCH IT!

YouTube





ON NE PLAISANTE PAS
— AVEC LE GOÛT* —



SERVICEPLAN H Entrepris RCS Nanterre 414842062

* La recette d'Affligem Cuvée Florem à l'arôme naturel fleur de sureau est approuvée avec soin par les moines de l'abbaye d'Affligem.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.