

ÉCRAN HAPTIQUE ÉLECTROSENSIBILITÉ MÉSON B DIVISION CELLULAIRE  
RAGOÛT OUT OF AFRICA DRONE ULTRA-NOIR ÉLIXIR DE JOUVENCE VIRUS

SCIENCE & VIE

# SCIENCE & VIE



JUILLET 2017 N°1198 MONDADORI FRANCE



**GARE AU SUCRE!**  
CE QUE L'INDUSTRIE  
NOUS CACHE

**TRANSFUSIONS  
SANGUINES**  
ELLES NOUS  
RAJEUNISSENT!

**RYTHMES  
SCOLAIRES**  
CE QU'EN DIT  
LA SCIENCE

ALGORITHMES

## UNE NOUVELLE INTELLIGENCE EST NÉE

**JUPITER**

LES INCROYABLES RÉVÉLATIONS DE LA SONDE JUNO

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 \$ CAD - MAR: 50 DH - TOM SS: 750 CFP - TOM A: 1400 CFP

M 02578 - 1198 - F: 4,50 € - RD

# Nouveau Renault KOLEOS

## Suivez vos aspirations

Le SUV au caractère affirmé  
Habitabilité et confort de haut niveau avec hayon motorisé  
mains-libres et toit ouvrant panoramique  
Technologie tout terrain ALL MODE 4x4-i  
Système multimédia R-LINK 2 avec écran tactile 8,7"

Consommations mixtes min/max (l/100km) : 4,6/5,8. Émissions CO<sub>2</sub> min/max (g/km) : 120/156.  
Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.

Renault recommande 



**RENAULT**  
La vie, avec passion



# meilleurtaux.com

## C'EST AUSSI



**250**  
agences

1 000 experts



en agence



sur le web



au téléphone



# meilleurtaux.com

Un crédit vous engage et doit être remboursé. Vérifiez vos capacités de remboursement avant de vous engager.

Aucun versement, de quelque nature que ce soit, ne peut être exigé d'un particulier avant l'obtention d'un ou plusieurs prêts d'argent. Pour tout prêt immobilier, l'emprunteur dispose d'un délai de réflexion de 10 jours : l'achat est subordonné à l'obtention du prêt, s'il n'est pas obtenu, le vendeur doit lui rembourser les sommes versées. Meilleurtaux, 36 rue de Saint-Pétersbourg 75008 Paris, société par actions simplifiée au capital de 1 000 000 €, RCS Paris n°424 264 281, courtier en opérations de banque et services de paiement et intermédiaire en assurance ORIAS n°07 022 955 ([www.orias.fr](http://www.orias.fr)). Liste de nos partenaires consultable sur [meilleurtaux.com](http://meilleurtaux.com). Sous le contrôle de l'ACPR, 61 rue Taitbout 75436 Paris Cedex 09, ([www.acpr.banque-france.fr](http://www.acpr.banque-france.fr)).

# Avant-propos

SCIENCE & VIE



Mathieu  
Grousson  
[m.grousson@mondadori.fr](mailto:m.grousson@mondadori.fr)

## Une planète vertigineuse

Les images envoyées par la sonde *Juno*, en orbite autour de Jupiter, nous racontent une planète plus complexe, plus exotique et plus extrême que prévu. On semble ne la découvrir qu'aujourd'hui ! Mieux, les premières données indiquent que *Juno* permettra de remonter jusqu'aux origines de Jupiter. Et, ce faisant, jusqu'à celles du système solaire. C'est l'aventure scientifique grand format qui s'offre à nous. Comment passer à côté ?



Kheira Bettayeb  
[k.bettayeb@mondadori.fr](mailto:k.bettayeb@mondadori.fr)

## Des rythmes scolaires en dépit de la science

Une fois de plus, les rythmes scolaires vont être modifiés. Le nouveau gouvernement l'a annoncé : dès septembre, les communes pourront revenir à la semaine de quatre jours. Plusieurs villes ont déjà fait savoir qu'elles choisiront effectivement cette option... Mais quand écoutera-t-on enfin ce que la science a à dire sur ce sujet ? Quand privilégiera-t-on enfin l'intérêt des enfants ? Le nouveau ministre de l'Education argue qu'il n'y a pas de certitude sur l'intérêt de la semaine de quatre jours et demi... C'est faux ! S'il est d'ailleurs un point sur lequel les scientifiques sont d'accord, c'est bien celui-là. Mais qui veut encore les écouter ?

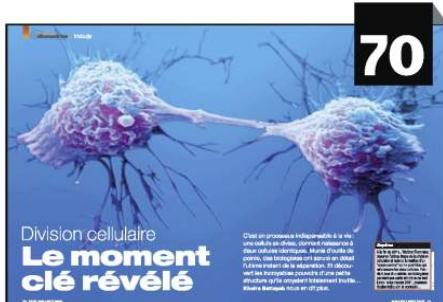
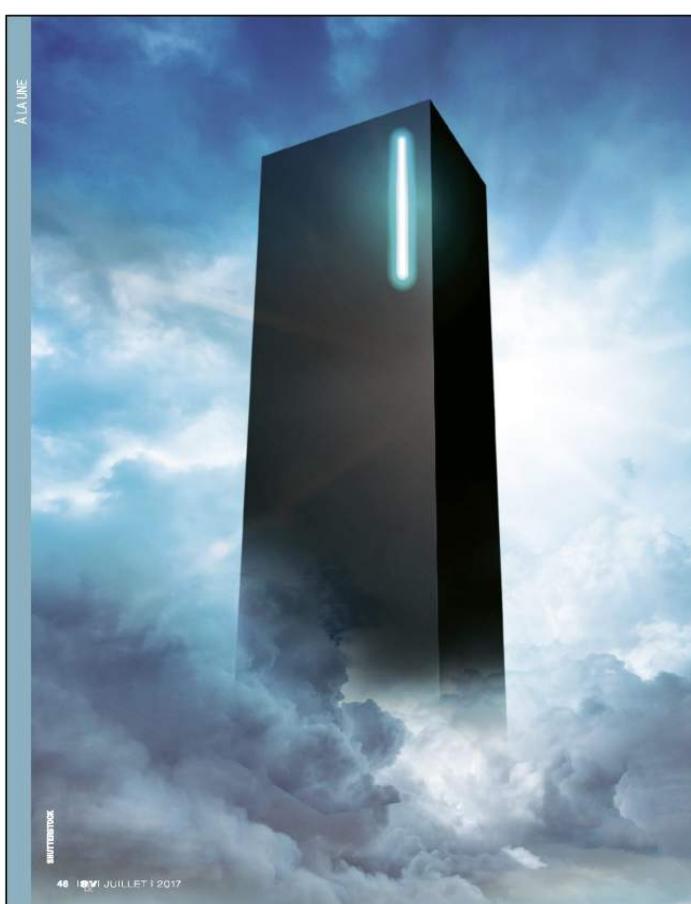
Vincent Nouyrigat  
[v.nouyrigat@mondadori.fr](mailto:v.nouyrigat@mondadori.fr)

## Bienvenue dans la boîte noire

Difficile de ne pas être ébloui par les derniers exploits des systèmes d'intelligence artificielle. Personne ne comprend vraiment ce qui se trame au sein de ces machines algorithmiques. La presse les présente souvent comme le résultat d'une sorte d'alchimie informatique. Et les chercheurs eux-mêmes ont le plus grand mal à saisir les raisons qui amènent leurs créatures à livrer tel ou tel résultat, aussi brillant soit-il. Que se passe-t-il donc dans la tête des robots ? Notre dossier vous propose une première plongée au cœur de cette autre intelligence, dans ce qui constitue sans doute l'une des quêtes scientifiques les plus importantes des dix années à venir.

# Sommaire

juillet 2017 **Ω° 1198**



**SCIENCE VIE** 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex  
Tél.: 01 46 48 48 48 - Fax: 01 46 48 48 67

E-mail : svmens@monadadori.fr  
Recevez *Science & Vie* chez vous. Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 113. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com). Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur [www.kiosquemag.com](http://www.kiosquemag.com).

Un encart Kits Construction est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.  
Un encart Croisière Afrique australe est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.

10 **Forum**

## Actus

16 **Labos**

C'est le souffle des astéroïdes qui tue ; les élèves motivés se synchronisent ; à la naissance, l'humain distingue déjà cinq couleurs...

24 **Environnement**

Les arbres auront du mal à se réfugier en altitude ; le loup redevient-il chien ?...

28 **Médecine**

Un placenta artificiel a fait ses preuves ; l'espérance de vie des séropositifs se normalise...

34 **Technos**

La Nasa teste un avion supersonique "silencieux" ; le verre s'imprime aisément en 3D...

## Evénement

38 **SUCRE**

**La grande intox ?**

## A la Une

46 **ALGORITHMES**

**Une nouvelle intelligence est née**

52 L'intelligence qui défie notre entendement

58 Un pouvoir inquiétant ?

## Science & découvertes

64 Microbiologie

**Bactériophages : des virus doués de parole**

67 Paléoanthropologie

**Plus tôt, plus vite, plus loin : Homo, un éternel voyageur**

70 Biologie

**Division cellulaire : le moment clé révélé**

76 Astronomie

**Jupiter n'est pas celle qu'on croyait**

## Science & techniques

84 Vieillissement

**Sang : le nouvel elixir de jouvence ?**

88 Lumière

**Ultra-black, la quête du noir absolu**

94 Communication

**Voici le premier écran vraiment tactile**

## Science & futur

98 Un méga gratte-ciel flottant est à l'étude ;

un robot multitâche vient épauler les pompiers ; des pistes rondes d'aéroport sont en test ; pour désengorger le trafic, un projet de réseau souterrain est envisagé ; le premier tunnel maritime du monde va sortir de terre ; des routes mieux éclairées grâce à la porcelaine ; une imprimante 3D bâtit une maison en 24 heures ! Un jardin artificiel est en train d'éclore sur une autoroute abandonnée...

## La science & la vie

### Science & société

106 Aménagement des rythmes scolaires :

Les quatre avis scientifiques que personne ne suit

110 Electrosensibilité : un lien physiologique avec les antennes relais enfin établi ?

112 Pollution au diesel : dépasser les normes provoque 38 000 décès prématurés par an

### Science & vie pratique

114 Bon à savoir

116 Technofolies

### Science & culture

120 Questions/Réponses

126 A voir / à lire

128 Il y a... 100 ans : un premier drone militaire décolle en France

# NOUVEAU SUV 7 PLACES PEUGEOT 5008

ENTREZ DANS UNE NOUVELLE DIMENSION



BETC Automobiles PEUGEOT 5008 RCS Paris.  
BVCert. 6033203

ORIGINE  
FRANCE®  
GARANTIE

BVCert. 6033203

À PARTIR DE  
**299** €/MOIS<sup>(1)</sup>  
Après un 1<sup>er</sup> loyer  
de 4 200 €

**3**  
ANS D'ENTRETIEN  
INCLUS

PEUGEOT RECOMMANDÉ TOTAL Consommation mixte (en l/100 km) : de 4,1 à 6,1. Émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) : de 106 à 140.

(1) En location longue durée (LLD) sur 37 mois et pour 30 000 km. Exemple pour la LLD d'un nouveau SUV 5008 Access 1,2L PureTech S&S BVM6 130 neuf hors options, incluant 3 ans de garantie, d'entretien et d'assistance. Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives. **Modèle présenté :** 5008 Allure 1,2L PureTech S&S BVM6 130 options peinture métallisée Emerald Crystal, toit ouvrant panoramique et toit Black Diamond : **353 €/mois** après un 1<sup>er</sup> loyer de 5 800 €. Offre non cumulable valable du 02/05/2017 au 30/06/2017, réservée aux personnes physiques pour un usage privé pour toute LLD d'un nouveau SUV PEUGEOT 5008 neuf dans le réseau PEUGEOT participant, sous réserve d'acceptation du dossier par CREDIPAR, loueur et SA au capital de 138 517 008 €, RCS Nanterre n° 317 425 981, ORIAS 07004921-9, rue Henri-Barbusse 92230 Gennevilliers. Le PCS Maintenance peut être souscrit indépendamment de toute LLD aux conditions disponibles dans le réseau PEUGEOT participant.

## NOUVEAU SUV PEUGEOT 5008

MOTION & EMOTION



**NOUVEAU PEUGEOT i-COCKPIT®  
VOLET DE COFFRE MOTORISÉ  
NAVIGATION 3D CONNECTÉE**

**ESPACE INTÉRIEUR MODULABLE**  
GRÂCE À SES 2 SIÈGES SUPPLÉMENTAIRES  
ESCAMOTABLES ET EXTRACTIBLES



**PEUGEOT**

# Forum

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

## Que voit-on depuis le fond de l'Univers ?

Dans votre dossier "L'atlas secret de l'Univers" (n° 1194), vous parlez de GN-z11, une galaxie étrangement massive qui existait 400 millions d'années après le big bang. S'il y a une planète habitée dans cette galaxie, et que leurs astronomes découvrent la Voie lactée, ils doivent être terriblement étonnés qu'elle soit aussi riche en

étoiles, seulement 400 millions d'années après le big bang... Il doit y avoir une erreur dans mon raisonnement, mais où ?

André Legrand, Biévène (Belgique)

**S&V** Si la galaxie GN-z11 existe encore aujourd'hui et si elle a des habitants, alors oui, ils voient eux aussi un Univers d'apparence sphérique



centré sur eux, dont la limite est la lumière issue du big bang, à 13,7 milliards d'années-lumière d'eux. Mais ils ne peuvent pas voir le système solaire. Car

notre Soleil n'étant né qu'il y a 4,5 milliards d'années, sa lumière n'a pas eu le temps de voyager jusqu'à eux. S'ils regardent dans la bonne direction à 13,4 milliards d'années-lumière, ils ne verront que l'endroit où la Voie lactée, le Soleil et nous sommes censés apparaître des milliards d'années plus tard. Et encore... L'Univers étant en expansion, GN-z11 et nous ne cessons de nous éloigner l'un de l'autre : 32 milliards d'années-lumière nous séparent aujourd'hui, bien au-delà des frontières de notre Univers visible. Nous ne pouvons plus les voir. Et ils ne nous verront jamais.

J'ai lu votre article "Antidouleurs codéinés : alerte à l'addiction cachée" (n° 1196) avec attention car je lutte contre cette addiction depuis quatre ans. Le plus étonnant, c'est que je ne fume pas et ne bois pas.

Joanna Seredynska, Paris

“ ”



## Un nanocircuit pas si plat !

Dans votre article du n° 1195 (p. 86), vous écrivez que la feuille d'or sur laquelle est tracé le circuit est une surface plane. Mais à l'échelle atomique, est-ce possible ? Les atomes d'or jointifs doivent former une surface chaotique digne des pavés de "l'enfer du Nord" !

Christian Braud, Castelnau-Le-Lez (34)

Vous avez raison. Les déformations de la piste ont été exploitées pour créer des sillons. L'organisateur de la course, Christian Joachim (CNRS), nous a expliqué que l'or avait été coupé et chauffé pour créer des plis et des torsions de surface qui ont constitué les virages.

## Terre surpeuplée ? Coloniser Mars n'est pas la solution !

**A propos de votre dossier "Vivre dans l'espace" (n° 1196), j'ai parfois lu et entendu que coloniser Mars ou d'autres planètes était la réponse à la surpopulation sur Terre. Cela me semble complètement irréaliste : l'humanité s'accroissant tous les jours, en gros, de 225 000 personnes... il faudrait envoyer dans l'espace l'équivalent d'un A380 toutes les trois à quatre minutes, simplement pour maintenir ce nombre stable ! Et ce sept jours sur sept, 365 jours par an.**

André Lespes, Bourg-Saint-Andéol (07)

## Neandertal et Sapiens : une seule espèce... non ?

Deux individus sont de la même espèce s'ils peuvent donner naissance à une descendance féconde. Or, à vous lire, il semblerait qu'*Homo sapiens* se soit hybridé (avec succès) avec l'homme de Denisova ou de Neandertal. Pourquoi alors les qualifiez-vous d'espèces différentes ?

Hervé Lobry, Othis (77)

**S&V** Longtemps, en effet, Neandertal fut considéré comme une sous-espèce de *Sapiens*. Mais les deux espèces sont aujourd'hui clairement

distinguées. En fait, l'interfécondité à elle seule ne peut suffire à définir l'appartenance à une même espèce : les petits issus d'un ours polaire et d'un grizzly, par exemple, semblent parfois capables de se reproduire. Ce seul critère permet donc de dire que deux individus n'ayant jamais de descendance féconde ne sont pas de la même espèce, mais rien ne garantit le contraire ! Les études morphologiques, génétiques et géographiques aident donc à dresser la barrière parfois subtile entre les espèces.

## On en reparle

### L'événement

#### PROTECTION DES DONNÉES ALERTE AU PIRATAGE BIOMÉTRIQUE

Plus sûre que les codes et les mots de passe, la biométrie passe aujourd'hui pour être la recette ultime de la protection des données personnelles. Faute à Thomas Cavaillé-Foi à enquêter... et découvrir que les empreintes digitales sont si compliquées à pirater. Preuve à l'appui...

Demandez au docteur de la sécurité de l'entreprise de faire un tour à l'hôpital. Il y a quelque chose qui cloche avec les patients. Il a été dévoilé que les malades sont plus susceptibles d'être victimes de piratage que les patients. C'est une évidence. Le piratage est toujours une menace pour les données personnelles. Les empreintes digitales sont également une menace pour les données personnelles. Mais, à l'heure d'aujourd'hui, il existe une autre menace : les empreintes digitales sont également une menace pour les données personnelles.

Ensuite, lorsque l'on demande à l'hôpital de faire un tour à l'hôpital, il y a quelque chose qui cloche avec les patients. Il a été dévoilé que les malades sont plus susceptibles d'être victimes de piratage que les patients. C'est une évidence. Le piratage est toujours une menace pour les données personnelles. Les empreintes digitales sont également une menace pour les données personnelles. Mais, à l'heure d'aujourd'hui, il existe une autre menace : les empreintes digitales sont également une menace pour les données personnelles.

1870

Application biométrique

1902

Application biométrique

1987

La première tablette

2016

La première tablette

2017

La première tablette

4,45

La première tablette

En 150 ans, l'identification par empreinte digitale a envahi notre quotidien

4,45

La première tablette

<div data-bbox="660 2904 678 29

# Forum

## On en reparle



### Ondes gravitationnelles Un exploit historique

## DÉTECTION D'ONDES GRAVITATIONNELLES : ET DE TROIS !

Nous vous le racontions en mars : après avoir célébré la première détection d'ondes gravitationnelles en septembre 2015 (n° 1183, p. 88), les scientifiques se grattaient la tête... Les deux trous noirs dont la fusion avait tordu l'espace-temps étaient bigrement massifs, 29 et 36 fois la masse du Soleil ! Et un flash de rayons gamma avait été décelé par le satellite *Fermi* 0,4 seconde à peine après la fusion... ce que la théorie ne prévoyait pas. Les deux événements étaient-ils effectivement associés ? Le débat faisait rage.

Enfin, une troisième détection vient d'être annoncée ! L'instrument américain Ligo a capté, le 4 janvier, le passage d'ondes gravitationnelles produites par la fusion de deux trous noirs de 19 et 31 masses solaires. "Il s'agit sans nul doute de la même catégorie, assure Eric Chassande-Mottin, membre de l'équipe. On est donc bel et bien face à une nouvelle population de trous noirs dont on ne sait pas expliquer la formation. Une dizaine de scénarios très différents existent, mais impossible de les départager."

Quant à une contrepartie lumineuse... rien. Le tout premier signal était-il une illusion ? "Rien n'est définitif, estime Adam Goldstein, de l'équipe de Fermi. Le signal pourrait être passé inaperçu dans le bruit de fond." Il faudra détecter d'autres ondes gravitationnelles pour trancher. Ligo a déjà repéré cinq candidats, toujours en attente de confirmation.

B.R.

## Roswell: 70 ans après, l'affaire fait toujours débat



Votre article sur les 70 ans de l'affaire Roswell (n° 1197, p. 132) m'a fait bondir : pas la peine de revenir sur cette affaire en relayant la ridicule version officielle. Des "débris de ballon-sonde" ? Alors que la zone de Roswell a été bouclée par l'armée durant plusieurs jours... armée qui a étouffé l'affaire en la rendant sciemment ridicule pour discréditer les témoins oculaires. Lesquels ont raconté, eux, une tout autre histoire, très longtemps plus tard, car menacés de représailles à l'époque par les services spéciaux américains...

Luc Mutzig, internet

**S&V** Soixante-dix ans après les "événements de Roswell", ceux-ci continuent d'échauffer les esprits... Officiellement, l'affaire est classée : l'armée américaine a reconnu avoir cherché, en 1947, à dissimuler le crash d'un ballon-sonde provenant d'un programme top secret de détection atmosphérique des essais nucléaires soviétiques. Des historiens ont mis en

lumière les différentes raisons (guerre froide, culture du secret de l'armée américaine, etc.) qui ont conduit les autorités de l'époque à mettre en œuvre ces mesures de dissimulation. Que la zone ait été bouclée et les populations locales tenues au secret n'a, en soi, rien d'exceptionnel dans le cadre d'un programme bénéficiant d'un niveau de classification équivalent à celui du projet Manhattan (dont l'objectif, pour rappel, était de concevoir l'arme atomique).

On peut regretter que cette culture du secret ait entraîné, en retour, une suspicion légitime. Pour autant, aucun document connu et authentifié comme véritable ne permet aujourd'hui de remettre en cause la version avancée, quelques décennies plus tard, par l'administration américaine, lorsque l'ensemble des documents correspondants ont été déclassifiés. Ceci ne signifie pas que toute la lumière a été faite. Mais la raison recommande, en l'absence de nouvel élément, de retenir le récit décrit comme le plus convaincant.

**SCIENCE & VIE**  
LA BOUTIQUE

Livres & cadeaux scientifiques et insolites

Nouvelle boutique en ligne !

> + de  
**600**

- ✓ Livres
- ✓ Objets scientifiques
- ✓ Idées cadeaux

Rendez-vous vite sur : [boutique.science-et-vie.com](http://boutique.science-et-vie.com)



**Quand nous  
améliorons la  
qualité de l'air,  
la qualité de  
votre sommeil  
s'améliore.**

L'air ambiant impacte considérablement notre vie quotidienne. En fait, des études récentes montrent que la pollution de l'air peut augmenter le risque de problèmes respiratoires pendant la nuit, nuisant à la qualité de notre sommeil.

Nos catalyseurs contribuent à réduire fortement les émissions polluantes des véhicules et de l'industrie.

Si la qualité de votre sommeil n'est plus altérée par l'air que vous respirez, c'est parce que chez BASF, nous créons de la chimie.

Pour partager notre vision, rendez-vous sur [wecreatechemistry.com](http://wecreatechemistry.com)



**BASF**

We create chemistry

# Forum

## Dans les kiosques

### LES PLANTES, SECRETS & VERTUS

Avant de mettre des plantes chez vous pour assainir l'air ou de vous soigner avec des gélules de valériane, lisez ce numéro spécial. Vous y découvrirez quelles sont les plantes réellement médicinales, ainsi que les secrets de l'intelligence végétale. Car les plantes ont un cerveau ! De quoi bannir l'expression "bête comme chou". *Science & Vie Questions Réponses*, 4,50 €



### SPÉCIAL ANIMAUX

Ils sont trente. Trente animaux dont la morphologie ou le comportement défie la logique... et la théorie de Darwin. Pourquoi le poisson opah est-il le seul à avoir le sang chaud ? Pourquoi le paresseux descend-il laborieusement de son arbre pour déféquer ? Quel peut bien être le secret de l'éternelle jeunesse de l'hydre ? Ou encore, pourquoi le rat-taupe est-il prévenu contre le cancer ? *Science & Vie* a retenu trente animaux qui, à première vue, semblent s'affranchir des lois de l'évolution. A première vue, seulement...



*Science & Vie Hors-série*, 5,50 €

### L'HOMME FACE AUX ÉPIDÉMIES

Peste, choléra, grippe... Terrifiantes par leur ampleur et leur violence, les épidémies raflent des millions de vie sur leur passage. Des plus célèbres aux plus mortelles, d'où viennent-elles ? Comment ont-elles conquis la planète ? Nous les avons souvent contrecarrées, mais aussi expliquées et parfois... utilisées.

*Les Cahiers de Science & Vie*, 5,95 €



## SCIENCE&VIE

Une publication du groupe

**MONDADORI FRANCE**

### 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 (éditrice en chef déléguée  
du site internet), Vincent Nouyrigat,  
Caroline Tourbe (médecine)

### CHEFS DE RUBRIQUE

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

### RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol,  
Emilie Rauscher

### SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

### SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

### MAQUETTISTES

Valérie Samuel-Charrer (1<sup>re</sup> maquettiste),  
Elisabeth de Garrigues

### SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

Anne Levy (chef de service photo),  
Stéphane Aubin, Boris Bellanger  
(chef de service infographie)

### DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquindo, I. Barathieu, K. Bettayeb,  
P.-Y. Bocquet, S. Brunier, F. Cadu, L. Cavicchioli,  
S. Ceugniet, A. Dagan, A. Debroise, O. Delmas,  
G. Depamour, S. Devos, S. Fay, F. Gracci,  
M. Grousson, C. Hancock, R. Ikonikoff, H. Leroux,  
M. Kontente, E. Monnier, B. Perrin, N. Picard,  
A. Pihen, A. Rambaud, B. Rey, M. Saemann,  
Y. Scialma, O. Surcouf, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

### 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

Jean-Charles Guérault (directeur diffusion),  
Siham Daassa (responsable diffusion marché)

### BOUTIQUE ET VPC

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

### MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Dousl, Mathilde Janier-Bonnichon,  
Michèle Guillet

### PUBLICITÉ

#### DIRECTEUR EXÉCUTIF

Valérie Camy

### 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

Jean-Jacques Benezech (19 83)  
Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(infoldodon@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 Châteleit

### FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

### 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 : 44,80 €

1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €

Dépot légal : juillet 2017

### RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,

CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

Pour vous abonner par Internet :

[www.kiosquemag.com](http://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](mailto:mondadori-suisse@edigroup.ch).

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

[mondadori-belgique@edigroup.be](mailto:mondadori-belgique@edigroup.be)

Autres pays : nous consulter.

### A 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](mailto:sev.lecteurs@mondadori.fr)

### COMMANDE D'ANCIENS

#### NUMÉROS, RELIURES

#### ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact @

[laboutiquescienceetvie.com](mailto:laboutiquescienceetvie.com)

### AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL

Origine du papier : Allemagne,

Taux de fibres recyclées : 0 %.

Certification : PEFC. Impact sur l'eau :

Ptot 0,016 kg/tonne





# CRÉER *avec audace* RÉUSSIR L'IMPOSSIBLE

Oser les différences de points de vue, écouter ses émotions, mobiliser les talents et s'accomplir dans un monde où la mutation est devenue la norme. Experte depuis plus de 140 ans dans son domaine, NEOMA Business School vous apprend à développer vos compétences pour faire de vous un leader responsable et innovant.

**Et si vous faisiez bouger les lignes ?**

Tao DDB © DR

#humanship  
[www.neoma-bs.fr](http://www.neoma-bs.fr)

NEOMA  
BUSINESS SCHOOL



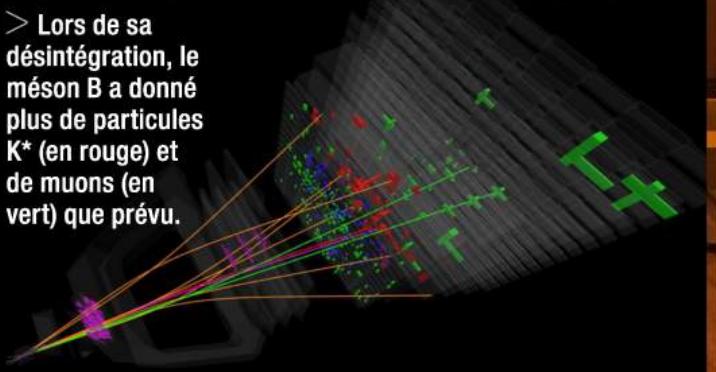
# actus



> Le détecteur  
LHCb, au sein  
de l'accélérateur  
géant du Cern.



> Lors de sa désintégration, le méson B a donné plus de particules  $K^*$  (en rouge) et de muons (en vert) que prévu.



#### PHYSIQUE DES PARTICULES

# UNE ANOMALIE DU MÉSON B MET À MAL LA THÉORIE

Impossible de rester stoïque face à ce “coup de canif” dans le modèle standard. De récentes analyses indiquent que le méson B, une particule composite intégrant un quark beauté (B), ne se désintègre pas comme prévu.

L'équipe de l'expérience LHCb, en cours au sein de l'accélérateur géant de particules du Cern, près de Genève, vient en effet de montrer que le méson B se désintégrerait moins souvent en un  $K^*$  (autre particule composite) et deux muons (sortes d'électrons obèses) qu'en un  $K^*$  et deux électrons. Or, ces deux types de réaction devraient en principe se produire avec exactement la même probabilité.

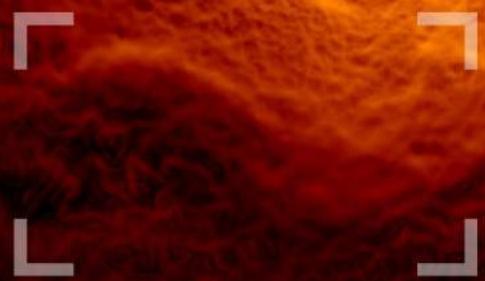
Une observation d'autant plus troublante que ce n'est pas la première anomalie

constatée dans le comportement du méson B.

Il y eut d'abord, en 2015, des trajectoires de vol non standard de certaines particules issues de la désintégration d'un méson B. Puis, en 2016, des probabilités de désintégration de cette même particule incompatibles avec la théorie...

*“La somme de tous ces effets, individuellement faibles, intrigue de plus en plus”, reconnaît Sébastien Descotes-Genon, directeur du Laboratoire de physique théorique, à Orsay. Ces anomalies laissent-elles entrevoir la possibilité d'une connaissance renouvelée de l'univers élémentaire ? Dans l'attente d'autres données, elles demeurent en tout cas le seul espoir d'accoster sur une nouvelle Terra physica incognita... M.G.*

< L'étrange vague de gaz repérée dans l'amas de galaxies de Persée a enfin livré ses secrets.



ASTROPHYSIQUE

## LES RENCONTRES COSMIQUES LAISSENT DES CICATRICES

Dans le bas de cette image en rayons X de l'amas de galaxies de Persée, on distingue une vague de gaz (encadrée de blanc). Stephen Walker et ses collègues de la Nasa ont découvert qu'il s'agit d'une cicatrice laissée par un autre amas qui s'y serait greffé il y a des milliards d'années. L'approche de ce corps ex-

térieur massif a pu décaler le centre de gravité de l'ensemble, vers lequel le gaz se serait déplacé. Et le frottement des couches de gaz aurait généré des mouvements concaves dans le tourbillon convexe. "Nos simulations indiquent que ces structures gazeuses sont sensibles au champ magnétique des

amas de galaxies, explique Julie Hlavacek-Larrondo, de l'université de Montréal, coauteur de l'étude. *Leur présence ou leur absence permettrait donc de mesurer ces champs magnétiques. Or, on sait qu'ils ont une grande influence sur le comportement de la matière à de telles échelles.*" B.R.

**DANS L'ESPACE,  
LES MAMMIFÈRES RESTENT  
FERTILES**

Des spermatozoïdes de souris conservés à -95 °C durant neuf mois à bord de l'ISS voient leur ADN modifié par les rayons cosmiques. Mais cela n'affecte pas leur fertilité, ni celle de leur progéniture.

G.D.

**LE CERVEAU  
PATERNEL  
PENCHE POUR  
LES FILLES**

Le père d'une petite fille serait plus attentif aux besoins de son enfant que celui d'un petit garçon. Le cerveau, observé sous IRM, de 30 papas de petite fille (sur 52 pères étudiés) réagit plus intensément au sourire de leur bébé. o.D.

**LA DYNAMO  
DE LA LUNE  
TROUVE UNE  
EXPLICATION**

Pourquoi, dans le passé, la Lune était-elle dotée d'un champ magnétique ? Des chercheurs pensent qu'il a été engendré au début de son histoire par la cristallisation de son noyau métallique. G.D.

**ASTRONOMIE****C'est le souffle des astéroïdes qui tue**

Une étude anglaise montre que les principales causes de mortalité dues aux astéroïdes ne sont pas celles qu'on croit. "Les effets les plus meurtriers seraient l'onde de choc et l'effet de souffle lié à la désintégration dans l'atmosphère", révèle Clemens Rumpf, de l'université de Southampton. L'impact au sol serait bien moins 'efficace'. L'onde de choc fait éclater les organes internes tandis que le souffle projette directement les corps ou des débris mortels. Un bolide de 400 m de largeur ferait ainsi 150 000 victimes via ces effets aérodynamiques.

V.N.

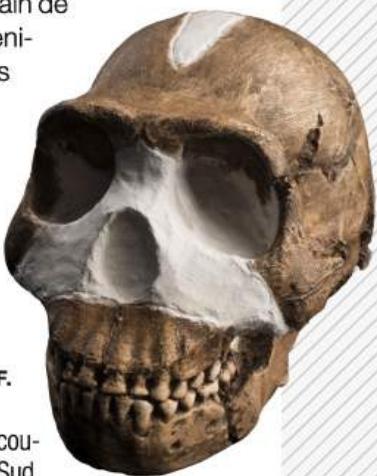
**COGNITION****Les élèves motivés  
se synchronisent**

Des scientifiques américains, néerlandais et allemands ont suivi durant un semestre des étudiants de l'université de New York. La cohérence de leurs électroencéphalogrammes a été évaluée par un logiciel. Résultat : les signaux cérébraux sont d'autant plus synchrones que les élèves se sentent impliqués dans le cours et proches de leur professeur. Attention, précise la chercheuse Suzanne Dikker, qui a mené l'expérience, cela n'indique pas que les cerveaux communiquent entre eux, mais "qu'ils font attention à la même chose au même moment". A.D.

**PALÉOANTHROPOLOGIE****Au temps de Denisova  
et Neandertal vivait  
aussi... *Homo naledi***

Depuis sa découverte en 2015, *Homo naledi* reste un mystère. "Il présente à la fois des caractères primitifs et dérivés de la lignée humaine. Il peut bouleverser la paléoanthropologie", assure John Hawks, de l'université du Wisconsin. Et voilà que des chercheurs viennent de dater ces fossiles : entre 335 000 et 236 000 ans. Mais *Naledi*, relique du genre *Homo*, aurait pu survivre plus d'un million d'années, et être contemporain de Neandertal, de Denisova, des ancêtres de Florès et des précurseurs d'*Homo sapiens*. Cinq espèces humaines, au moins, cohabitaient donc sur Terre il y a 300 000 ans. T.C.-F.

> *Homo naledi*, découvert en Afrique du Sud.



MÉCANIQUE DES FLUIDES

# IL Y A BIEN UN ORDRE DANS LE CHAOS DES TURBULENCES

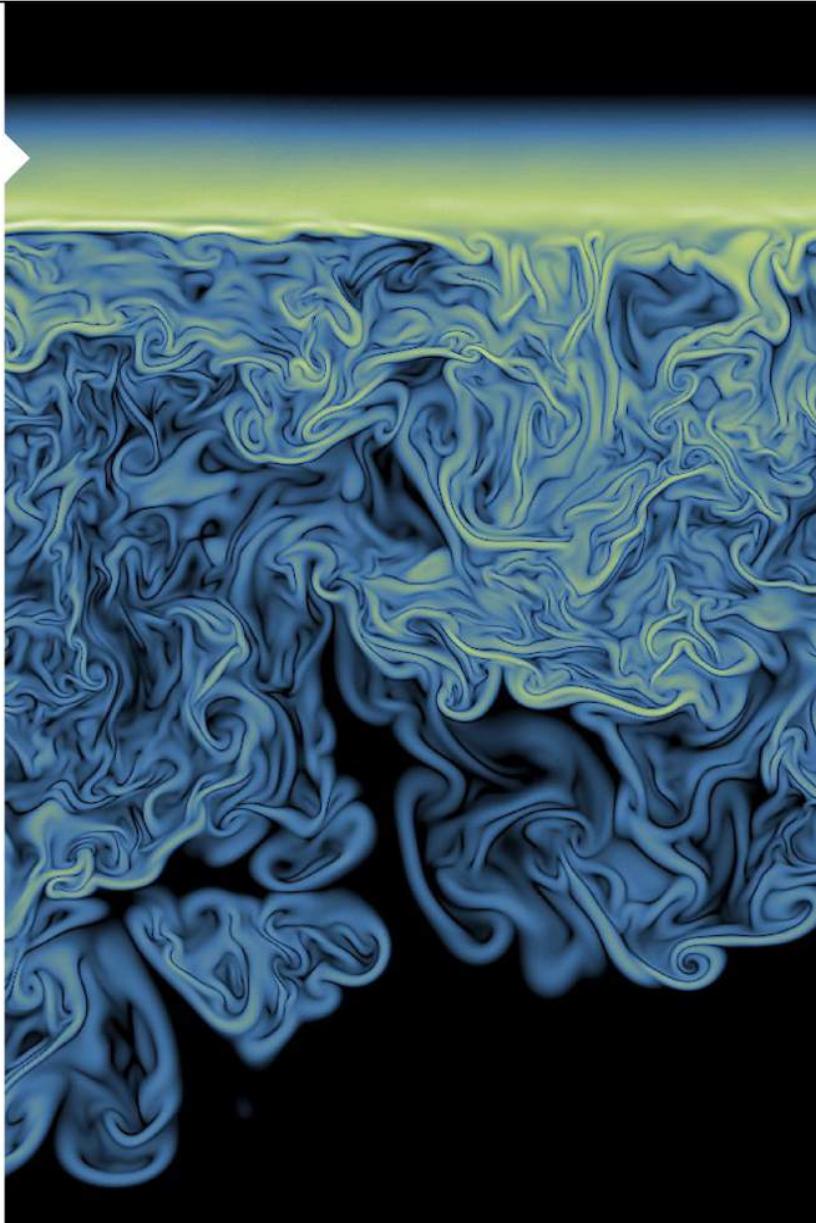
Non, les écoulements chaotiques ne sont pas soumis au désordre le plus complet. Leur évolution s'organise au contraire autour de configurations d'une étonnante stabilité.

Comment décrire l'évolution d'un fluide chaotique agité de tourbillons dont le devenir semble voué au hasard le plus total ? Les théoriciens soupçonnaient qu'un tel écoulement, entre deux séries temporelles agitées, passe par des configurations plus ou moins stables appelées "structures cohérentes exactes". "Pour un temps, l'écoulement chaotique ralentirait et se figerait, avant de repartir de plus belle vers un nouvel équilibre instable, et ainsi de suite", détaille Yohann Duguet, chercheur CNRS au Limsi, à Orsay.

Pour s'en assurer, l'équipe de Michael Schatz, de l'Institut de technologie de Géorgie, à Atlanta, a étudié l'évolution d'une mince couche fluide chaotique. Résultat : de manière récurrente, sa surface passe bien par un ensemble de configurations pseudo-stabilisées. Et ces dernières sont exactement celles prédictes par la théorie. "L'accord entre l'expérience et les solutions numériques est incroyable, c'est un très beau travail", se réjouit Yohann Duguet.

Mieux : forts de ces résultats, les chercheurs américains ont montré qu'il est possible de prédire l'évolution du système au cours du temps. Preuve qu'un semblant d'ordre demeure, au-delà du chaos apparent des phénomènes.

M.G.



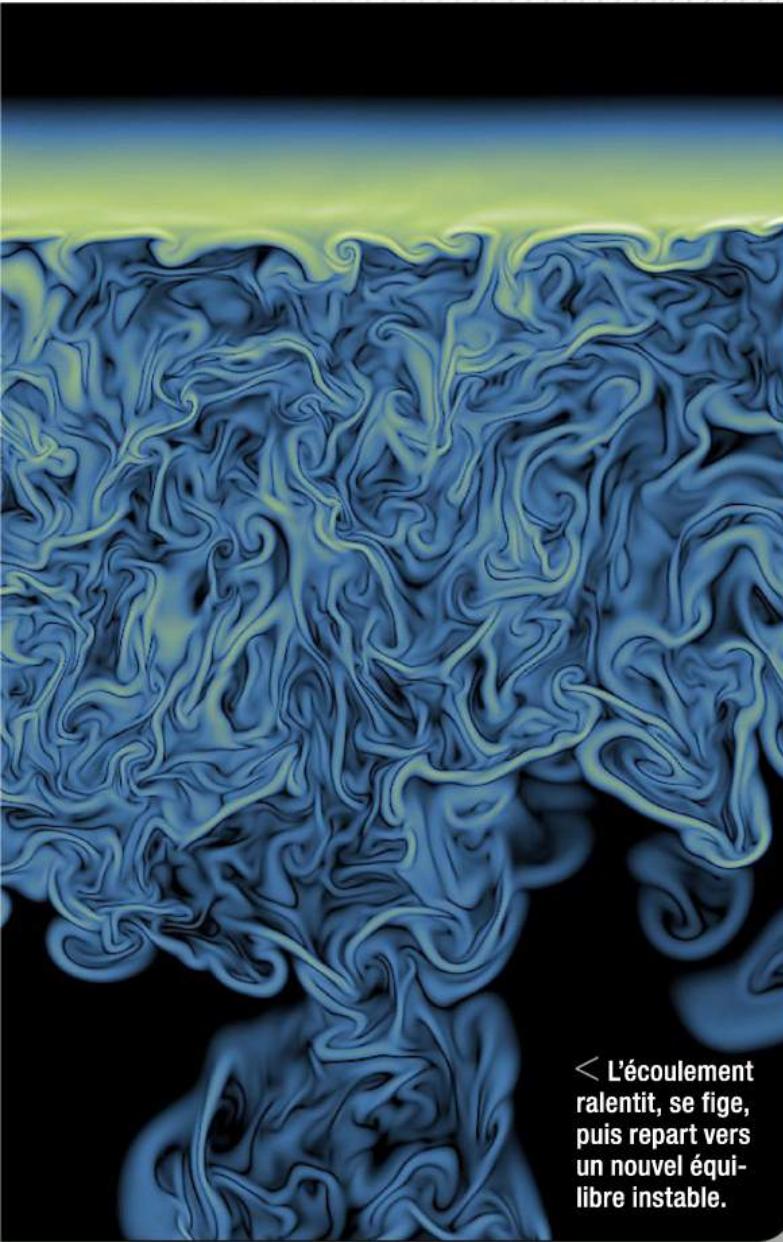
# 25 %

C'est la proportion, chez la mouche charbonneuse, de matériel génétique provenant d'autres espèces. Des séquences d'ADN, les transposons, s'invitent ainsi dans le génome, faisant fi des lois de l'hérédité. Ce sont des chercheurs du laboratoire Ecologie et biologie des interactions, à Poitiers, qui ont mis en évidence l'importance de ces transferts de gènes horizontaux (entre organismes ne descendant pas l'un de l'autre) chez plus de 195 espèces d'insectes. A.P.

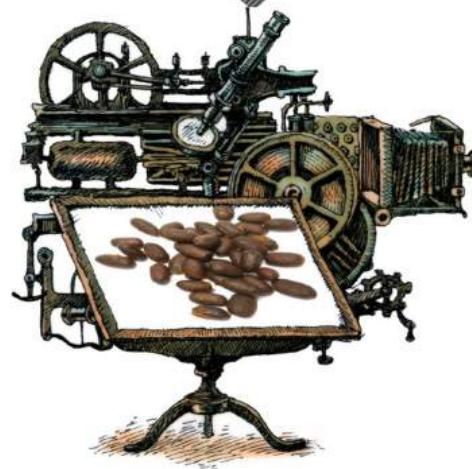
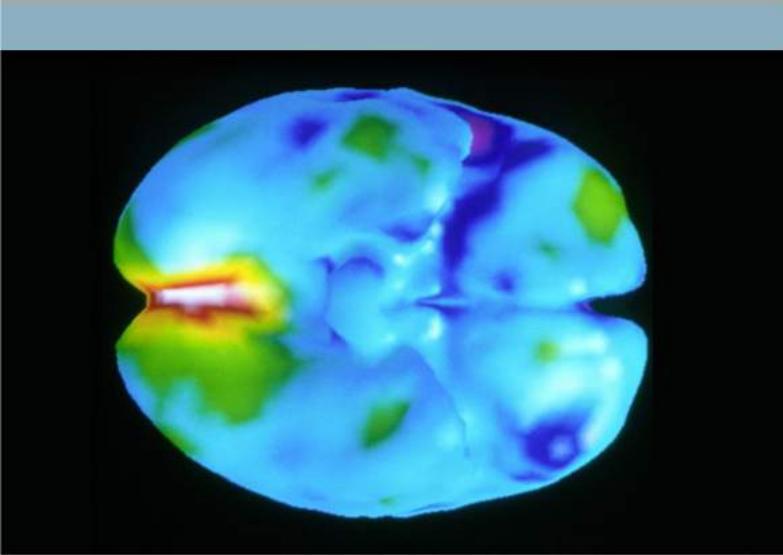
NEUROLOGIE

## À la naissance, l'humain distingue déjà cinq couleurs

Chaque langue fixe ses propres limites pour nommer les différentes couleurs, ce qui laisse penser que les typologies de coloris seraient avant tout culturelles. Faux, répondent des chercheurs de l'université du Sussex, en Angleterre. Selon leur étude menée sur des nourrissons de 4 à 6 mois, l'humain naît en sachant instinctivement distinguer cinq couleurs : le rouge, le jaune, le vert, le bleu et le violet. Ces dernières seraient donc les catégories de base du centre de la vision de notre cerveau (en rouge et blanc sur l'image ci-contre), mais l'environnement pourrait ensuite les nuancer. T.C.-F.



< L'écoulement ralentit, se fige, puis repart vers un nouvel équilibre instable.

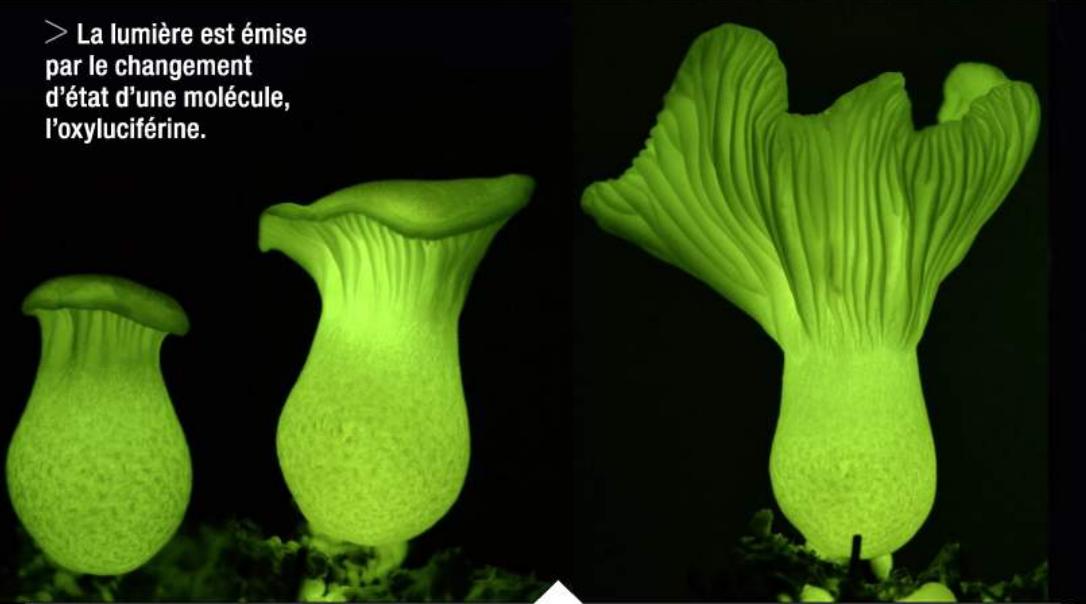


## La défécation des mammifères a été mise en équation

Plus d'un siècle après la révélation de la constante de Planck et plus de 300 ans après celle de la constante gravitationnelle, des physiciens de l'Institut de technologie de Géorgie révèlent l'existence d'un nouvel invariant : le temps de défécation des mammifères. Sur la base de l'analyse de 19 vidéos YouTube, d'une difficile enquête de terrain dans un zoo et plusieurs jardins publics, et d'une modélisation mathématique complexe, les chercheurs montrent que, quelle que soit la taille des animaux et de leurs déjections, toutes les espèces de mammifères mettent autour de douze secondes pour déféquer (du moins celles produisant des fèces cylindriques – lapins, rongeurs et ruminants, aux rejets ovoïdes, sont étudiés à part). Une constante qui s'explique notamment par des variations dans l'épaisseur de la couche de mucus censée diminuer les frottements. Publié dans la revue *Soft Matter* (littéralement "matière molle"), cet article devrait, d'après ses auteurs, mettre fin à "*une considérable controverse*". Notamment grâce à l'équation :  $T = (L/h) \times (4LKm/DPmin) \exp(1/nm)$ . Si on ne savait pas que  $nm$  représente le comportement fluidique du mucus, et  $Pmin$  la pression rectale minimum... on y croirait presque.

E.A.

> La lumière est émise par le changement d'état d'une molécule, l'oxyluciférine.



PHOTOCHEMIE

## LES CHAMPIGNONS BRILLENT EN IMITANT LES LUCIOLES

Pas moins de 80 espèces de champignons brillent dans le noir. Une étude publiée par une équipe de chercheurs russe-brésilienne révèle qu'ils utilisent le même mécanisme de bioluminescence que les lucioles. Ces champignons possèdent une molécule, la luciférine, qui réagit avec l'oxygène de l'air grâce à une enzyme, la luciférase. Cette réaction

produit de l'oxyluciférine, dont le passage d'un état excité à un état stable émet de la lumière. Et les chercheurs viennent de déterminer la formule chimique de l'oxyluciférine spécifique aux champignons.

Mais à quoi la luminescence peut-elle bien leur servir ? Pour Cassius Stevani, l'un des auteurs de l'étude, "elle éliminerait des

molécules produites lors de certains processus métaboliques comme la respiration", car ces molécules leur sont néfastes. Cette découverte laisse entrevoir des applications chez les plantes vertes, explique le chercheur. "Comme la luciférine fongique est aussi produite par les végétaux, nous pourrions produire... des plantes bioluminescentes !" O.D.

A.D.

PHYSIQUE

## Les "gouttes de Ruppert" ont parlé

Tête incassable, queue très fragile : Munawar Chaudhri et son équipe, de l'université de Cambridge, ont percé l'étrangeté de ces gouttes de verre fondu refroidies dans l'eau. Quand elles sont plongées dans l'eau, leur contraction se propage de l'extérieur vers l'intérieur. Le cœur se contracte et entraîne les couches externes, déjà froides, qui sont alors surcompressées. Mais celles-ci résistent, empêchant le cœur de se contracter complètement. Les couches internes sont donc étirées. Une petite fracture de la queue de la goutte se propagera alors très vite vers le cœur... et la pulvérisera.

A.D.

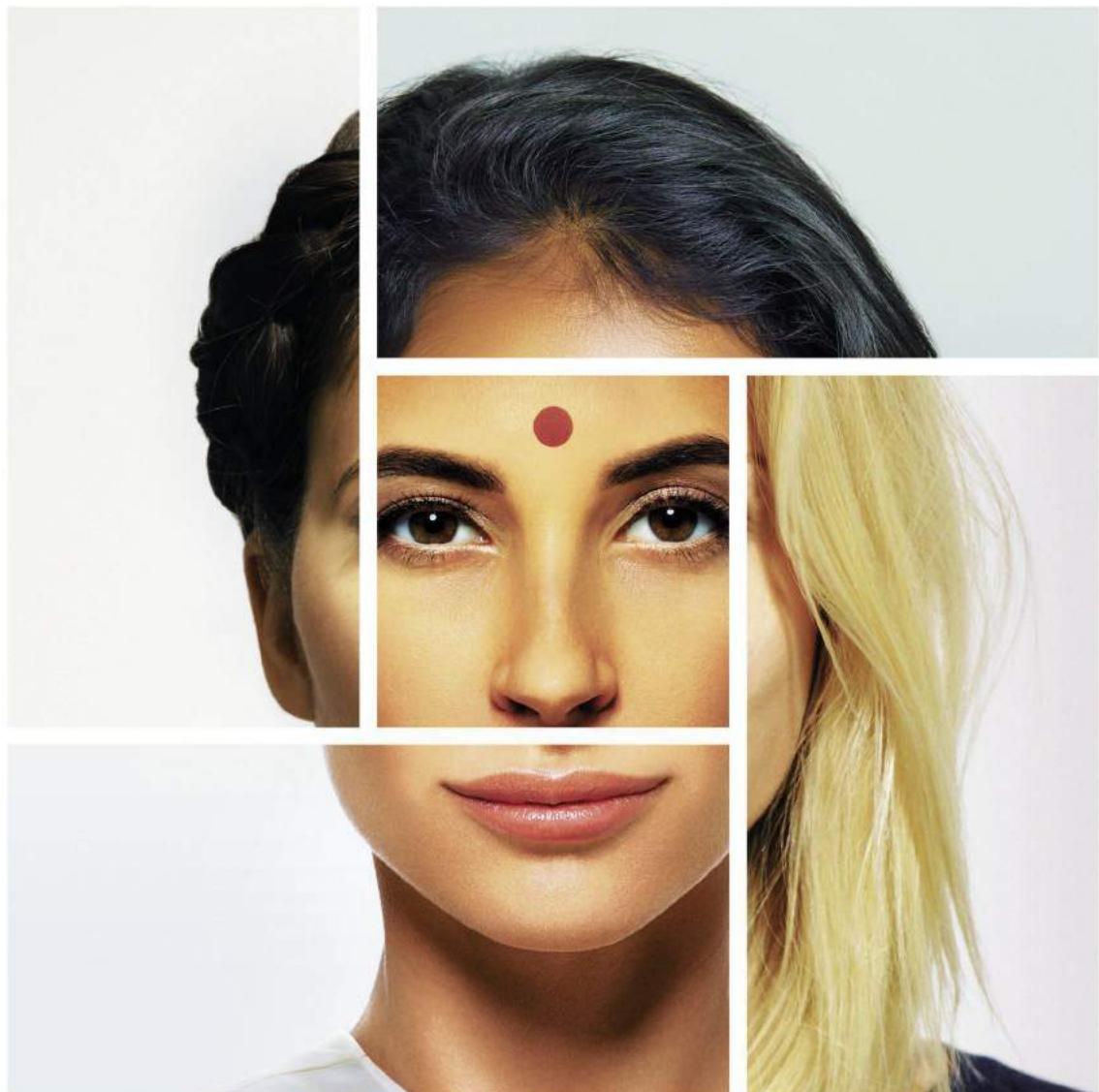
PALÉONTOLOGIE

## L'ADN d'hommes préhistoriques peut être détecté même sans fossile

Une équipe de l'Institut Max-Planck de Leipzig, en Allemagne, a découvert une technique permettant de repérer des traces d'êtres disparus depuis des millénaires, directement dans les sédiments. "Nous détectons l'ADN issu des mitochondries, explique Viviane Slon, spécialiste en génétique de l'évolution, puis nous estimons son âge en datant les sédiments dans lesquels il a été découvert." Cette technique se révélera particulièrement utile sur les sites où l'on suspecte la présence humaine sans en avoir la certitude. T.C.-F.

> La résistance de ces gouttes de verre est comparable à celle de l'acier.





## NOS ÉQUIPES ONT L'ACCENT LOCAL.

Welkom ! Bienvenue ! Bem-Vindo ! L'hospitalité est un art vivant, et chaque pays nous accueille différemment. Alors, de Rotterdam à Rio, chacun de nos hôteliers vous reçoit chez lui, partageant avec vous ses adresses secrètes, ses recettes authentiques et ses itinéraires d'initiés.

**Mercure**  
HOTELS  
VOYAGEZ PLUS VRAI

JUSQU'À **-10 %\*** SUPPLÉMENTAIRES EN RÉSERVANT VOTRE CHAMBRE SUR MERCURE.COM OU ACCORHOTELS.COM

\*Offre réservée aux membres "Le Club AccorHotels". La réduction s'applique, sous réserve de disponibilité, sur le tarif public. Voir conditions et liste des hôtels participants sur [mercure.com](#).



▲ En altitude, la température est certes plus clémente, mais les sols manquent de nutriments.

## RÉCHAUFFEMENT

## LES ARBRES AURONT DU MAL À SE RÉFUGIER EN ALTITUDE

Lorsqu'une forêt pousse en montagne, une option salvatrice s'ouvre à elle pour s'adapter au réchauffement climatique : migrer vers le haut. S'élever de 150 m revient en effet à perdre environ 1 °C. Mais cette solution s'annonce problématique, selon une large étude menée sur sept massifs tempérés à travers le monde. Les chercheurs savaient déjà

que les forêts s'arrêtent à une altitude correspondant à une température moyenne de 6 °C. Mais ce n'est pas seulement une question d'air trop frais : "Les arbres ont aussi besoin de puiser dans le sol des nutriments, notamment de l'azote et du phosphore, qui ne sont pas disponibles à ces altitudes", révèle Sandrine Lavorel, du Laboratoire d'écologie

alpine grenoblois. Tout simplement parce que le froid limite l'activité des microbes, grands architectes des sols. "Impossible encore de chiffrer combien de temps il leur faudra pour pouvoir accueillir des arbres... mais nous savons que les sols sont des entités qui évoluent lentement", s'inquiète la chercheuse. Y.S.

## FAUNE

## Le loup redevient-il chien ?

Sans le savoir, l'homme serait en train de domestiquer – à nouveau – le loup, estiment des chercheurs australiens. En effet, l'animal est revenu ou a été réintroduit au fil des dernières décennies dans des milieux largement transformés et habités par l'homme. D'où une coexistence accrue, au point de modifier profondément l'alimentation du loup, qui repose davantage sur l'élevage et sur nos détritus. Avec des effets possibles sur le reste de l'écosystème... V.N.



## POLLUTION

## Le plastique pollue aussi l'Arctique

Difficile d'imaginer régions plus isolées que les mers de Barents et du Groenland... Les scientifiques du voilier *Tara* y ont pourtant trouvé des concentrations de plastique flottant atteignant 100 000 fragments par kilomètre carré. Et cela représenterait plusieurs centaines de tonnes au total. Comment expliquer cette pollution ici ? Pour Maria Luiza Pedrotti, du CNRS, "ce plastique, issu principalement des continents européen et américain, aurait été ramené par la circulation thermohaline, un ample courant marin qui parcourt l'Atlantique". Peu dense, il flotte dans les zones où l'eau du courant, refroidie, s'enfonce. Y.S.



# Mitsubishi ASX

Système multimedia connecté avec navigation, compatible Apple CarPlay et Android Auto

Jantes alliage bi-ton 18"

Toit panoramique

Technologie  
Grandeur Nature



**OFFRE SPÉCIALE**

**JUSQU'AU 31 JUILLET**

ASX 1.6 ESSENCE 2WD INTENSE NAVI CONNECT  
EST À

**21 500 €<sup>(1)</sup>** **SANS CONDITION**



(1) Prix du Mitsubishi ASX 1.6 Essence 2WD Intense Navi Connect, déduction faite d'une remise de 3 500 €. **Modèle présenté :** Mitsubishi ASX 1.6 Essence 2WD Intense Navi Connect avec peinture métallisée en supplément (600 €) à **22 100 €**, déduction faite d'une remise de 3 500 €. Tarif Mitsubishi Motors en vigueur en France métropolitaine au 03/01/2017. Offre réservée aux particuliers valable jusqu'au 31/07/2017 et non cumulable avec d'autres offres en cours chez les distributeurs participants. Garantie et assistance : limitées à 6 ans/100 000 km, au 1<sup>er</sup> des 2 termes échu, selon conditions générales de vente. M MOTORS AUTOMOBILES FRANCE SAS au capital de 10 000 000 € - RCS PONTOISE n° 428 635 056 - 1, avenue du Fif - 95067 Cergy Pontoise Cedex.

Consommation mixte (L/100 km) : 5,7. Émission CO<sub>2</sub> (g/km) : 132.

[www.mitsubishi-motors.fr](http://www.mitsubishi-motors.fr)



Retrouvez-nous sur facebook

MMAF recommande



AKADÉMYS Crédits photos : gettyimages - Pierre Mahieu.

> Les vents portent les poussières du désert de Gobi jusqu'au sud-est du pays.



## SCIENCES ATMOSPHERIQUES

## LES POUSSIÈRES DU DÉSERT PROTÈGENT LES VILLES EN CHINE

La pollution atmosphérique industrielle, en Chine, est atténuée par les poussières du désert de Gobi ! Telle est la découverte d'un groupe de modélisateurs sino-américain, qui a calculé que les périodes à faibles poussières font augmenter la pollution hivernale d'environ 13 %. Béatrice Marticorena, du Laboratoire interuniversitaire des sciences atmosphé-

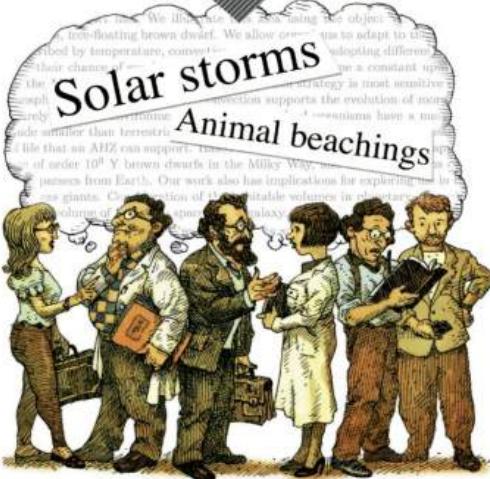
riques, à Créteil, explique cet effet contre-intuitif : "Les poussières ont tendance à renvoyer le rayonnement solaire par effet miroir. Si elles diminuent, le sol reçoit plus de rayonnement et se réchauffe. L'écart thermique entre continent et océan diminue, ce qui affaiblit le vent. Du coup, la pollution d'origine humaine stagne et empire." Y.S.

# 5 468

C'est le nombre de tornades qui ont frappé l'Europe ces 66 dernières années ! Ce chiffre stupéfiant a été révélé par l'équipe de Bogdan Antonescu, à Manchester. "Les Européens n'ont pas l'habitude de recenser les tornades, au contraire des Américains. Et ces chiffres sont sans doute sous-estimés, car nombre de ces épisodes sont enregistrés comme des orages violents", précise le chercheur. Y.S.

NASA/GSFC - S.AQUINDO

## Ça reste à prouver



## Et si les cétacés s'échouaient aussi à cause du Soleil ?

Pourquoi les baleines, dauphins et marsouins s'échouent-ils en si grand nombre sur nos côtes ? A cause des sonars militaires, qui perturbent leur système d'écholocalisation ? Pour un certain nombre de cas, peut-être, mais pas pour tous. Une équipe de physiciens, biologistes et défenseurs des animaux tient peut-être une explication : l'activité solaire. "C'est en assistant à une conférence sur les tempêtes solaires, dont les signatures magnétiques peuvent être détectées jusqu'au fond des océans, que j'ai fait le lien avec la sensibilité magnétique des cétacés", raconte la biologiste marine Desray Reeb, à Sterling (Etats-Unis). En émettant de gigantesques bulles de particules chargées électriquement, le Soleil provoque des anomalies magnétiques terrestres. Or, les scientifiques pensent qu'en plus du son, les cétacés utilisent aussi le champ magnétique terrestre pour se déplacer. Les colères du Soleil contribueraient ainsi à les désorienter. Les corrélations ne sont pas évidentes pour l'instant... mais si l'hypothèse se vérifiait, l'observation de l'activité solaire pourrait permettre d'anticiper de possibles échouages massifs et de mettre en place une protection. O.D.

# E=mc<sup>2</sup>

## L'ÉQUATION DE TOUS LES POSSIBLES...

**Et si l'on rendait enfin hommage à « l'équation la plus célèbre de tous les temps », comme l'écrit Christophe Galfard dans un livre aussi clair, concis et efficace que la formule elle-même ?**

Après nous avoir propulsés dans une course enivrante à travers le cosmos, l'auteur de *L'Univers à portée de main* nous invite cette fois à nous arrêter sur cette pépite, découverte par le jeune Albert Einstein en 1905. Connue aujourd'hui de tous, son sens et sa profondeur demeurent souvent cachés aux non-spécialistes.

**E**=mc<sup>2</sup> met en scène l'énergie, la masse et la vitesse de la lumière (au carré). C'est pour saisir le sens de ce mariage que Christophe Galfard propose un formidable voyage à travers l'histoire des sciences. Son récit, qui se lit d'une traite, démarre au XVII<sup>e</sup> siècle avec les premières tentatives pour mesurer la vitesse de la lumière. Galilée s'y attelle mais ne réussit pas car les moyens de l'époque sont insuffisants. Néanmoins, il lègue à la postérité sa lunette astronomique : celle-ci



### CHRISTOPHE GALFARD

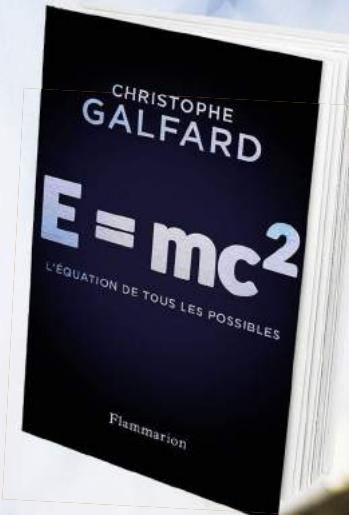
Docteur en physique théorique, il se consacre à l'écriture depuis *Georges et les secrets de l'Univers* qu'il a coécrit avec Stephen Hawking, son directeur de thèse à Cambridge. Sa trilogie *Le Prince des nuages* a connu un énorme succès. Chez Flammarion, il a notamment publié *L'Univers à portée de main* (2015).

permettra au danois Ole Rømer d'attribuer enfin une vitesse à la lumière en observant Io, l'une des quatre lunes de Jupiter découvertes par le physicien italien en 1610.

La lumière est au centre du livre de Christophe Galfard, conduit avec une grande simplicité d'écriture : comme son précédent titre, on le parcourt avec l'impression d'une douce balade qui « prend par la main » le lecteur, en appelle à son intuition et l'entraîne imperceptiblement vers les profondeurs de la pensée et de l'aventure scientifique. Et quelle aventure ! L'équation d'Einstein est le fruit des percées de brillants physiciens comme James C. Maxwell et sa théorie de l'électromagnétisme, qui fait de la lumière une onde ; Hendrik Lorentz, qui pour sauver les équations de Maxwell conçoit une formule où l'espace et le temps perdent formellement leur caractère absolu ; Max Planck aux prises avec les premiers signes de la quantification de l'énergie, point de départ de la future mécanique quantique ; ou encore Albert Michelson, qui met au point d'ingénieuses méthodes de

mesure de la vitesse de la lumière et teste l'existence du mystérieux éther au moyen de son interféromètre.

Au fil des pages, Christophe Galfard montre que E = mc<sup>2</sup> ne se résume pas à une suite de découvertes : sans les convictions des savants sur la symétrie profonde de la nature, l'équation n'aurait pu être. On pense naturellement au principe « de relativité » qui traverse la science depuis Galilée : les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels inertiels. Puis à cet autre principe issu des observations : la vitesse de la lumière dans le vide est constante. Pour les respecter, explique Christophe Galfard, Einstein ira jusqu'à « sacrifier » le temps et l'espace en les rendant variables d'un observateur à un autre. Même la masse sera sacrifiée : si les deux principes sont valables, alors la masse d'un solide doit varier avec sa vitesse. C'est ce lien tissé entre la vitesse et la masse qui a rendu possible l'équation E = mc<sup>2</sup>. Désormais, l'énergie et la masse forment les deux visages d'une même entité intimement liée à la lumière...



DISPONIBLE EN LIBRAIRIE - 96 PAGES - 12€ - FLAMMARION

**JOUEZ SUR  
WWW.SCIENCE-ET-VIE.COM  
ET TENTEZ DE GAGNER L'UN DES 100 OUVRAGES**

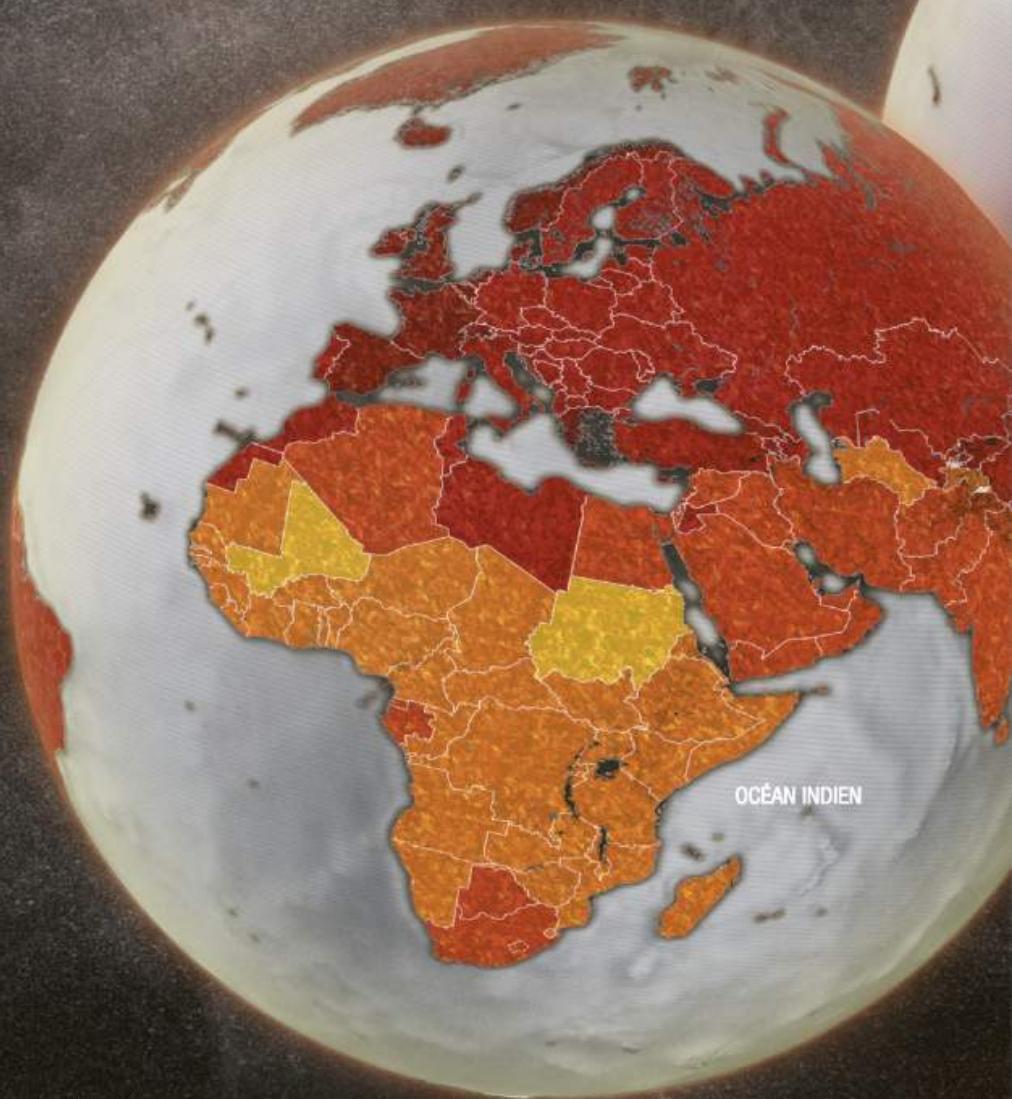
ÉPIDÉMIOLOGIE

# L'IMPORTANCE DES MÉFAITS DU TABAC SUR LA SANTÉ VARIE SELON LES PAYS

Le tabac est la seconde cause de mort prémature et de maladies dans le monde. Mais ce fléau ne touche pas tous les pays de la même façon.

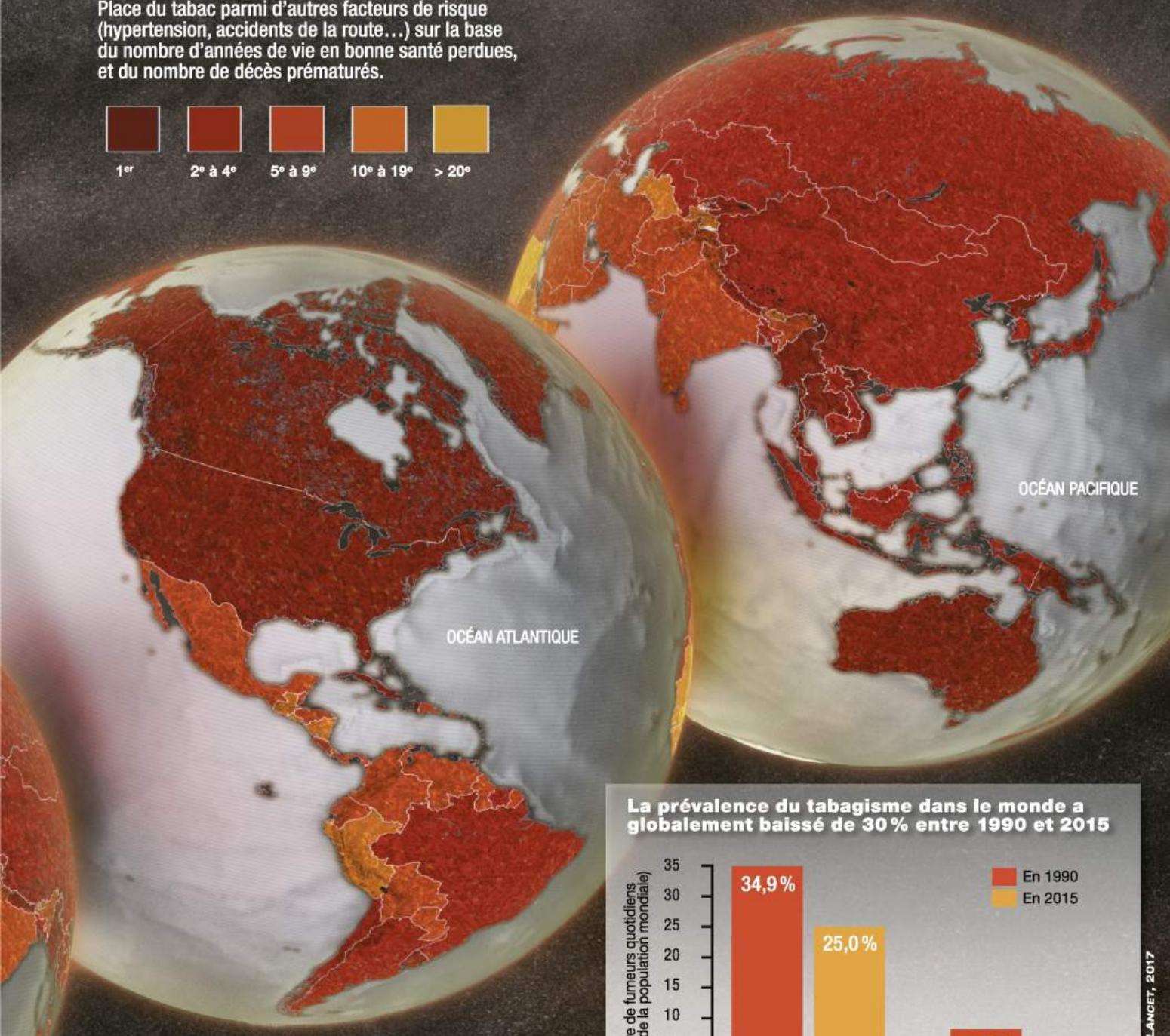
Quatre facteurs jouent au sein d'un pays : la proportion de fumeurs, la taille de la population, son espérance de vie et l'accès aux traitements de maladies comme le cancer. Les pays "riches" paient toujours au tabac un lourd tribut, y compris la France – principalement à cause de la consommation féminine –, mais la tendance globale est à la baisse grâce à une moindre consommation et à l'accès aux traitements. En revanche, dans les pays en développement, où l'explosion démographique se conjugue à l'allongement de l'espérance de vie, la fréquence des maladies et des décès dus au tabac augmente dramatiquement depuis 2005.

Ce constat global a été dressé à l'occasion d'une vaste étude basée sur les données de 195 Etats entre 1990 et 2015. Actuellement, un homme sur quatre fume quotidiennement sur Terre et une femme sur vingt. Des chiffres en baisse de 28 % pour les hommes depuis 1990 et de 34 % pour les femmes, témoignant de progrès importants dans la lutte contre le tabac à travers le monde. A.R.

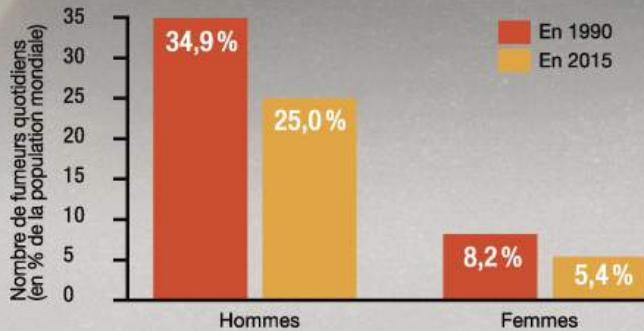


## En 2015, le tabac est le principal facteur de risque dans les pays riches

Place du tabac parmi d'autres facteurs de risque (hypertension, accidents de la route...) sur la base du nombre d'années de vie en bonne santé perdues, et du nombre de décès prématurés.



La prévalence du tabagisme dans le monde a globalement baissé de 30 % entre 1990 et 2015



SOURCE : THE LANCET, 2015

# 963 millions

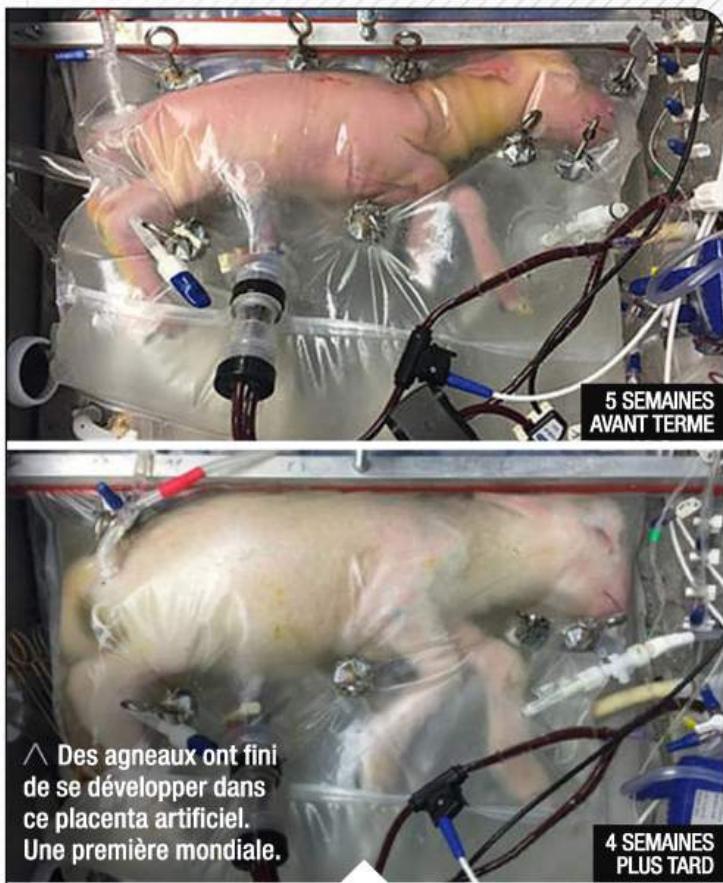
C'est le nombre de fumeurs quotidiens dans le monde, dont 82 % d'hommes. En 1990, il était évalué à 845 millions.

# 4,7 %

C'est l'augmentation du nombre de décès imputables au tabac dans le monde entre 2005 et 2015.

# 3 groupes de maladies

forment 90 % des affections dues au tabac : maladies cardio-vasculaires, cancers, maladies respiratoires chroniques.



## NÉONATALOGIE

## UN PLACENTA ARTIFICIEL A FAIT SES PREUVES

Un placenta artificiel, mis au point à l'hôpital pour enfants de Philadelphie, a permis le développement d'agneaux prématurés pendant quatre semaines. Le système consiste à maintenir les poumons dans un milieu liquide pour qu'ils poursuivent leur croissance, et à filtrer le sang pour favoriser les échanges gazeux ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) et l'apport en nutriments. Pour cela, le fœtus est prélevé par césarienne, maintenu dans une cuve remplie de liquide, et deux cathétérifs sont reliés au cor-

don ombilical pour prélever le sang et le réinjecter.

Après quatre semaines, les agneaux arrivaient à respirer tout seuls et ne présentaient pas de séquelles. L'équipe va poursuivre ses travaux sur l'animal, mais envisage de les appliquer à l'homme d'ici quelques années. L'idée serait d'utiliser ce placenta artificiel en substitut de la mère pourachever le développement de fœtus très prématurés, nés avant 23-24 semaines de grossesse, dont les chances de survie sont quasi nulles. A.R.

## PHARMACOLOGIE

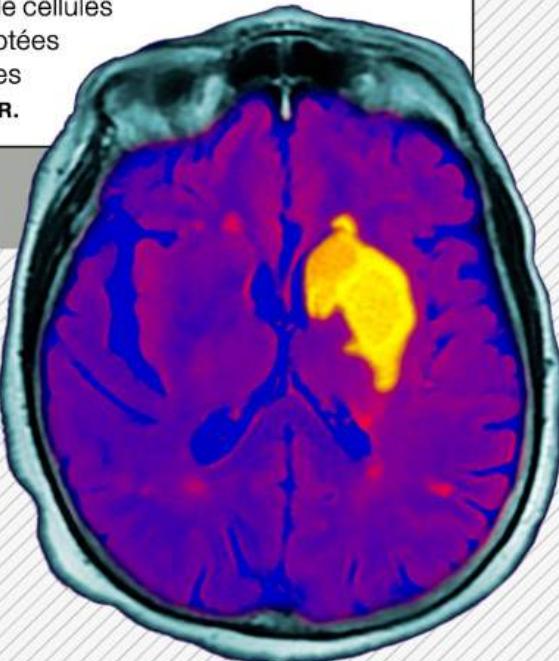
## Un lance-pierres délivre des médicaments

Des chimistes italiens et canadiens viennent de créer une sorte de lance-pierres à médicament! L'objectif? Acheminer et expédier ce dernier dans la région du corps à traiter. Le principe est assez simple: le lance-pierres, un brin d'ADN replié, est chargé avec une molécule thérapeutique; une fois injecté, il circule dans l'organisme où il n'expulsera le médicament que lors de la rencontre avec un anticorps spécifique de la maladie à traiter. A.R.

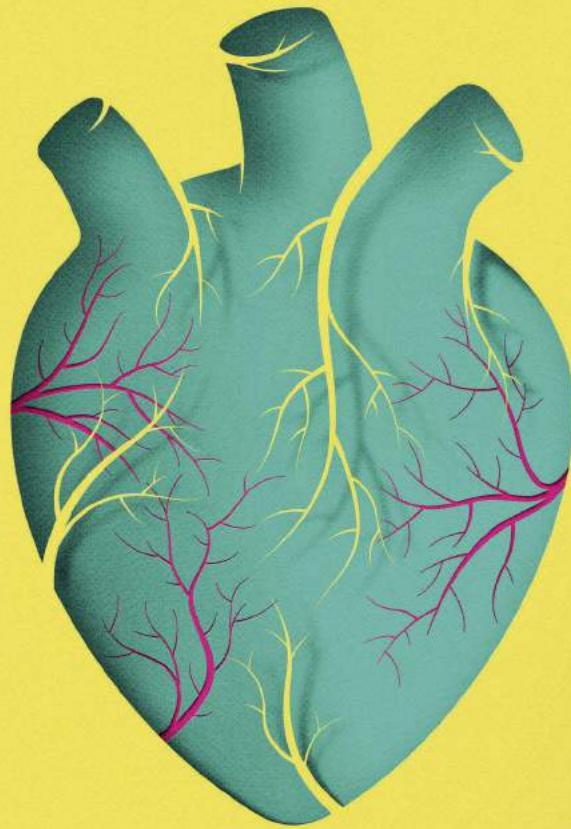
## NEUROLOGIE

## D'inédites cellules souches apparaissent après un AVC

Des cellules souches ont été retrouvées au niveau des aires cérébrales abîmées par une ischémie (obstruction d'un vaisseau entraînant la mort de neurones)! Telle est la découverte d'une équipe japonaise de l'université de Nishinomiya. Ces iSC (ischemia-induced stem cells) ont la capacité d'évoluer en divers types cellulaires, notamment en neurones. Pour les chercheurs, il ne fait pas de doute qu'apprendre à contrôler ces cellules *in vivo*, par des facteurs de croissance ou de différenciation, pourrait augmenter leur efficacité après un accident ischémique afin d'en limiter les séquelles. Et les cultiver *in vitro* permettrait par ailleurs de disposer de cellules souches adaptées à des thérapies cellulaires. A.R.



> Suite à une ischémie (en jaune), des neurones meurent... mais des cellules souches apparaissent!



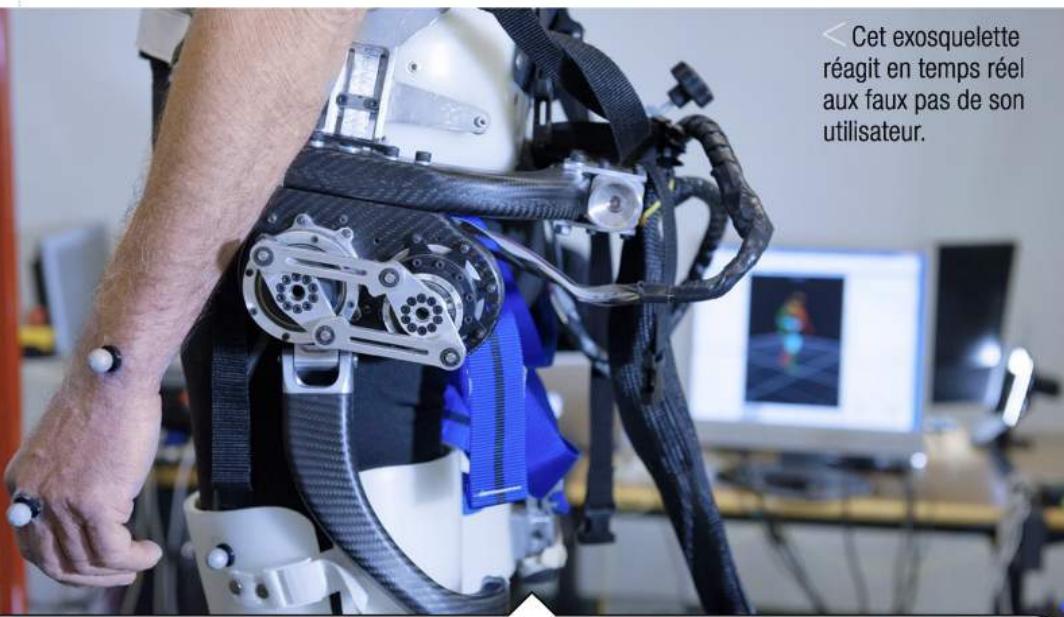
# **VOUS ÊTES DONNEUR. SAUF SI VOUS NE VOULEZ PAS ÊTRE DONNEUR.**

La loi fait de chacun d'entre nous un donneur présumé d'organes et de tissus après la mort. On peut être contre bien sûr, et dans ce cas il faut le faire savoir. La meilleure façon est de s'inscrire sur le registre national des refus. Mais vous pouvez aussi exprimer votre opposition à vos proches par écrit ou par oral. Pour toute question, rendez-vous sur [dondorganes.fr](http://dondorganes.fr)

**DONDORGANES.FR**  
**0 800 20 22 24** Service & appel gratuits

**DON D'ORGANES  
TOUS CONCERNÉS**

 agence de la  
Biomédecine  
Agence relevant du ministère de la santé



Cet exosquelette réagit en temps réel aux faux pas de son utilisateur.

## GÉRIATRIE

## UN EXOSQUELETTE INNOVE POUR PARER LES CHUTES DES SENIORS

Les chutes sont la première cause de décès accidentel chez les plus de 65 ans. Comment les réduire ? Par l'entretien physique des seniors, certes, mais des chercheurs de la Scuola Sant'Anna en Italie et de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) proposent une nouvelle solution : un exosquelette. Leur prototype, particu-

lièrement novateur, est "le premier à être utilisé de manière synergique avec le patient pour aider à anticiper la chute", explique Silvestro Micera, de l'EPFL. L'engin a été testé sur huit personnes âgées. Les patients devaient adopter leur vitesse de marche habituelle sur un tapis créant des perturbations mécaniques similaires à des glissements. L'exos-

quelette était alors capable de détecter en temps réel la perturbation et surtout de générer des contre-mesures au niveau des hanches de l'utilisateur pour restaurer sa stabilité.

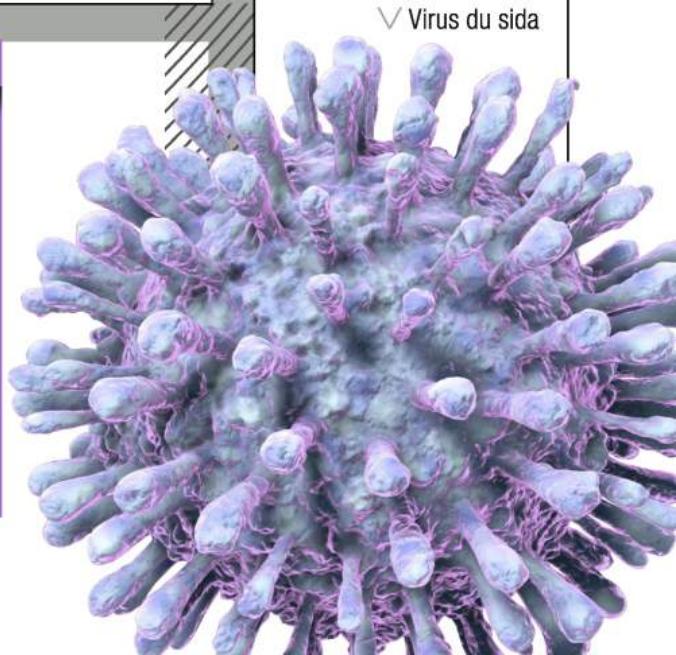
Restent encore quelques améliorations à prévoir : "Nous allons le rendre plus léger et portable d'ici deux à trois ans", affirme Silvestro Micera. C.H.

## ÉPIDÉMIOLOGIE

## L'espérance de vie des séropositifs se normalise

Si le traitement est commencé tôt, l'espérance de vie des personnes infectées par le VIH est de 78 ans, à peine un an de moins que celle des hommes en France. "Cela signifie qu'une trithérapie commencée très tôt permet aux séropositifs de vivre quasiment aussi longtemps que les séronégatifs. C'est un argument très fort en faveur du dépistage", explique Sophie Grabar (Inserm/Sorbonne Universités), l'une des épidémiologistes ayant participé à l'étude. Selon l'OMS, sur les 36,7 millions de séropositifs à travers le monde, seuls 18,2 millions sont sous traitement antirétroviral. C.H.

✓ Virus du sida



## NEUROLOGIE

## Certains troubles cognitifs ont bien une origine synaptique

Une équipe internationale a confirmé le lien entre les mutations d'un gène et certaines déficiences intellectuelles. Ce gène code pour une protéine impliquée dans le fonctionnement des synapses, ces zones de contact entre neurones qui assurent la propagation de l'information. Sa mutation empêcherait les synapses de bien se former. "Il s'agit d'une avancée importante pour comprendre les troubles autistiques et les déficiences intellectuelles", assure Frédéric Laumonnier (Inserm/université de Tours); même si elle ne concerne qu'une minorité de patients. C.H.

# RTL

PHOTO : ROMAIN BOÉ / ABACAPRESS



## LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT SIDONIE BONNEC ET THOMAS HUGUES LUNDI-JEUDI 20H-22H

LUNDI 3 JUILLET

## LES PLANTES : LEURS BIENFAITS ET LEURS MYSTÈRES

Avec Matthieu Villiers,  
Directeur de la rédaction de *Science & Vie*.

AÉRODYNAMIQUE

## LA NASA TESTE UN AVION SUPERSONIQUE "SILENCIEUX"

Le futur avion supersonique QueSST (Quiet Super Sonic Transport) conçu par Lockheed Martin ne devrait pas laisser entendre de "bang" supersonique lorsqu'il franchira le mur du son.

Ce bruit caractéristique est dû à la compression de l'air devant un objet en mouvement lorsque celui-ci atteint Mach 1 (environ 1 225 km/h). Or, la forme spécifique du QueSST – nez et fuselage très allongés, aile delta très resserrée – est pensée pour éviter que les ondes de pression ainsi engendrées ne conduisent au bang.

À la place, seuls deux petits bruits plus sourds, semblables à un battement de

cœur, se feront entendre. Un tel avion supersonique pourra alors survoler des zones aujourd'hui interdites à ce type d'engins, trop bruyants.

Les données des tests effectués dans une soufflerie du Glenn Research Center sur un modèle réduit à 9 % (photo ci-contre) "sont en cours d'analyse pour évaluer ses performances aérodynamiques entre Mach 0,2 et Mach 1,42, déclare James Russell, un porte-parole de la Nasa. Les tests valideront aussi la stabilité et l'efficacité des formes de l'avion et de son moteur. Jusqu'ici, ils sont positifs." Un prototype du QueSST pourrait voler dès la fin 2019.

S.F.

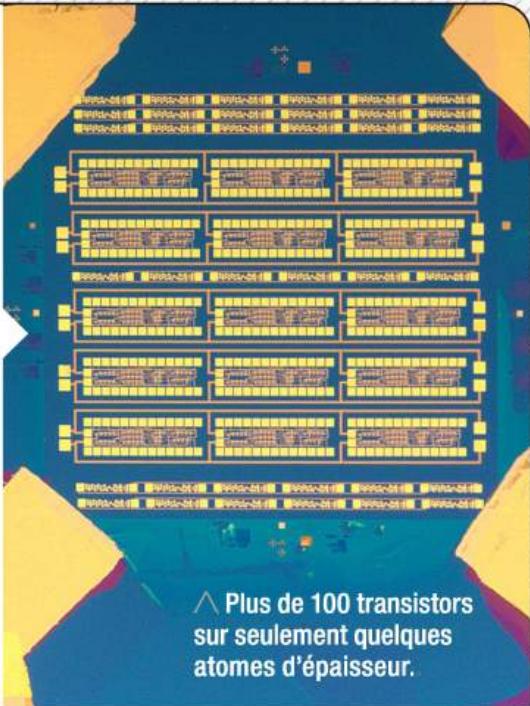


◀ Avec son fuselage très allongé, le QueSST (ici au stade de maquette) pourra franchir le mur du son avec un minimum de bruit.

## ÉLECTRONIQUE

### Une micropuce relance l'électronique "2D"

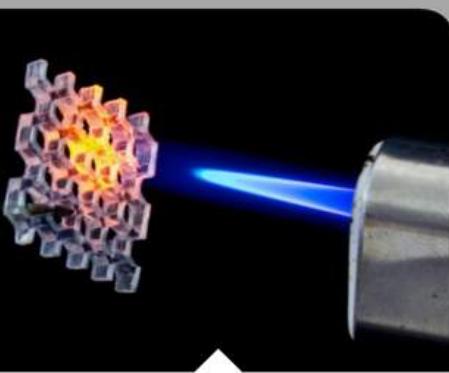
Une puce de quelques atomes d'épaisseur, comportant 115 transistors, a été fabriquée par Thomas Mueller, de l'Université technologique de Vienne, et son équipe. Jusqu'à présent, sur ce type de puce, dite "2D", on n'avait pas réussi à dépasser quelques transistors. *"Elle peut exécuter des calculs, récupérer et transmettre des données à des périphériques, explique Thomas Mueller. Surtout, elle peut être fabriquée avec les techniques industrielles existantes."* L'application la plus intéressante : la réalisation de circuits électroniques souples. **S.F.**



## IMPRESSION 3D

### Désormais, le verre s'imprime aisément

C'était une sorte de graal : façonnier le verre avec une simple imprimante 3D. Une équipe de l'Institut de technologie de Karlsruhe a réussi l'exploit. *"Des méthodes existaient, précise Frederik Kotz qui a mené l'étude, mais elles produisaient des structures grossières et non transparentes."* Les Allemands, eux, ont mis au point un mélange à base de nanoparticules de verre utilisable dans n'importe quelle imprimante 3D. Il suffit de chauffer après impression pour désagréger le solvant et récupérer une sculpture de verre pur et transparent. **M.F.**



## MATÉRIAU

### Une brique martienne préfigure peut-être le BTP dans l'espace

Une équipe de chercheurs de l'université de Californie a montré qu'il est possible de fabriquer des "briques" à partir du sol martien, sans chaleur, ni produit chimique, et sans aucun matériau terrestre ! En plaçant dans un tube de la poudre imitant le sol martien et en lui appliquant une pression équivalente à la chute d'un objet de 4 kg tombant de 1 m de hauteur, ils ont obtenu un matériau plus solide que le béton armé ! De quoi construire, un jour peut-être, des habitations sur Mars... **S.F.**

▼ La première brique "martienne" mesure 2,5 cm.



DÉCOUVREZ LA NOUVELLE CROISIÈRE ORGANISÉE PAR

SCIENCE & VIE

# DE LA TERRE AUX ÉTOILES



DES INVITÉS  
EXCEPTIONNELS



Yvon LE MAHO  
Éco-physiologiste



Christian de PERTHUIS  
Économiste



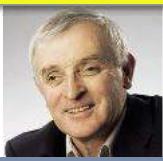
Pierre LENA  
Astrophysicien



Laurent BOPP  
Bio chimiste



Robert VAUTARD  
Climatologue



Jean JOUZEL  
Glaciologue

PRIX NOBEL ET MAÎTRE DE CÉRÉMONIE

SPÉCIAL VACANCES DE LA TOUSSAINT • DU 26 OCTOBRE AU 5 NOVEMBRE 2017

VOUS AIMEZ LES SCIENCES,  
CETTE CROISIÈRE EST FAITE POUR VOUS !

À partir de  
**1490€**

11 JOURS/10 NUITS  
Prix TTC par personne en cabine intérieure  
Au départ de Marseille

OFFRE SPÉCIALE TOUSSAINT<sup>®</sup>  
Gratuité cabine enfants  
pour les - de 18 ans  
(cf. brochure)

- Des conférences et tables rondes qui aborderont des thèmes passionnantes comme l'astronomie, le mouvement des océans ou les phénomènes météorologiques et des ateliers pratiques amusants pour les plus jeunes !
- Une croisière idéale pour les familles pendant les vacances de la Toussaint avec des excursions exclusives.
- Un navire équipé pour les moments de loisirs (piscine, toboggans, espace de jeux virtuels mais aussi spa, transats, ...).

Juniors (à partir de 9 ans), parents, grands-parents, seul ou en couple...  
VENEZ VIVRE UNE EXPÉRIENCE UNIQUE AUTOUR DE LA SCIENCE !

## ESCALE IBÉRIQUE

MARSÉILLE • MALAGA • CADIX • LISBONNE • VÁLENCE • BARCELONE • SAVONE



À BORD DU COSTA MEDITERRANEA

DES ATELIERS  
LUDIQUES POUR  
LES JEUNES

**Embarquez pour une croisière inoubliable autour des sciences!** Des conférences captivantes et des ateliers amusants accessibles à tous (Juniors, parents, grands-parents) en présence de scientifiques renommés qui partageront leur passion.

**Découvrez les plus beaux panoramas d'Espagne, d'Italie et du Portugal au départ de Marseille, sans oublier les multiples animations à bord.**



TÉLÉCHARGEZ LA BROCHURE COMPLÈTE SUR

[www.croisières-lecteurs.com/sv](http://www.croisières-lecteurs.com/sv)

ou écrivez-nous en renvoyant le coupon ci-dessous.

INFORMATIONS &amp; RÉSERVATIONS

01 41 33 57 01 EN PRÉCISANT SCIENCE &amp; VIE

Du lundi au vendredi de 9h 30 à 12h et de 14h à 18h

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE ET VIE CROISIÈRE DE LA TERRE AUX ÉTOILES - CS90125 - 27091 Evreux Cedex 9

 OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION COMPLÈTE DE CETTE CROISIÈRE PROPOSÉE PAR SCIENCE & VIE.

Nom : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Code postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_

Tél. : \_\_\_\_\_ Email : \_\_\_\_\_

 Oui, je souhaite bénéficier des offres de Science & Vie et de ses partenaires.Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ?  OUI  NON

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression de ces données par simple courrier. Crédits photos: Costa Croisières, Shutterstock. Cette croisière est organisée en partenariat avec SELECTOUR Bleu Voyages (Neige et Soleil Voyages SAS). Immatriculation IMO98120003 - RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766. Science & Vie est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François-Ory - 92543 Montrouge Cedex. (1) OFFRE SPÉCIALE TOUSSAINT : Gratuité Croisière enfants pour les - de 18 ans s'ils partagent la cabine de 2 adultes en cabine triple ou quadruple, hors boissons, taxes portuaires, vols, transferts et forfaits de séjours à bord.

# SUCRE LA GRANDE INTOX ?

Le sucre, un petit plaisir anodin à condition de manger équilibré et de faire du sport ? Faux ! alertent des chercheurs, qui s'inquiètent des retombées sanitaires (diabète, maladies cardio-vasculaires...) à l'échelle mondiale, et dénoncent des stratégies dignes de celles de l'industrie du tabac. Alors, sucrer tue ? **Yves Sciama** a enquêté.

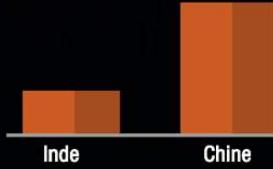
SHUTTERSTOCK - R.GARALDA/AFP - ALFRED CROMBACK/LE CARTON/PICTURETANK - M.KONTENTE

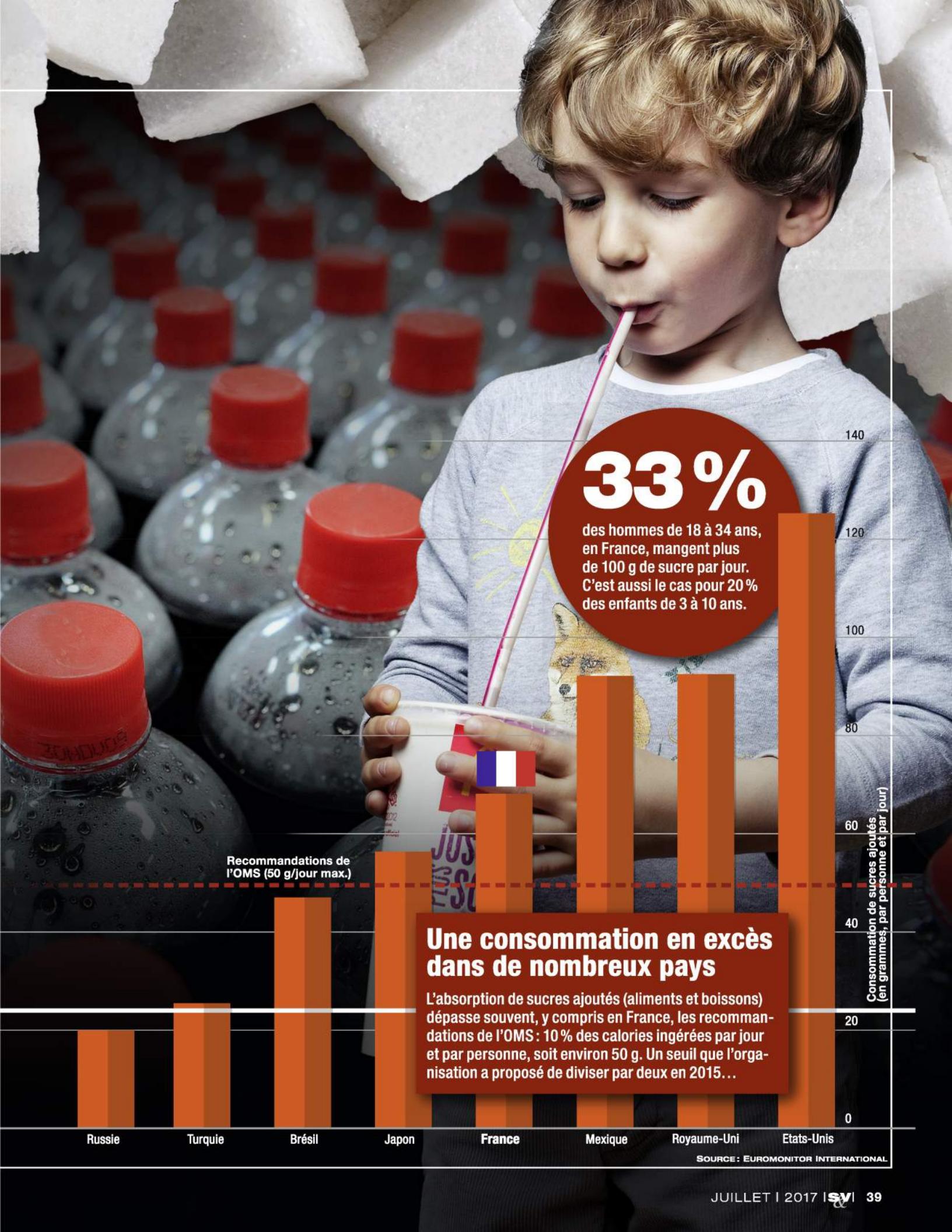
Verra-t-on un jour, comme pour les cigarettes, des paquets de bonbons portant l'avertissement "SUCRER TUE" en lettres capitales ? Faudra-t-il un jour montrer ses papiers pour prouver sa majorité avant d'acheter un soda ? Volontairement provocatrices, ces questions reflètent l'état d'esprit de certains scientifiques de haut rang, qui fulminent de voir le

sucré considéré par beaucoup comme un "petit plaisir" sans conséquence, alors qu'eux voient s'accumuler les données sur sa toxicité. Ils fulminent d'autant plus qu'il existe de nombreux parallèles entre l'industrie du sucre et celle du tabac, dans leur stratégie d'écran de fumée et de minimisation de la nocivité de leur produit... Commençons

par un premier constat : l'humanité est malade de ce qu'elle mange. Dans un rapport de mai 2015, l'OMS rappelait que l'obésité a doublé en trente-cinq ans dans le monde, touchant désormais 11 % des hommes et 15 % des femmes adultes, soit plus d'un demi-milliard d'humains. Dans la même période, le diabète a presque doublé également : →

Seuil "idéal" de l'OMS  
(25 g/jour max.)







## Sucres ajoutés : ils sont partout

Même sans avoir un goût sucré, un aliment contient du sucre en plus ou moins grande quantité... L'industrie agroalimentaire en ajoute dans quasiment tous ses produits pour ses effets sur la texture et la conservation. En voici quelques exemples, sachant qu'un morceau de sucre pèse près de 6 g et qu'un adulte ne devrait pas, selon l'OMS, dépasser 50 g par jour, soit 8 morceaux. (Les quantités sont ici données à titre indicatif car la composition peut varier énormément selon les marques.)

**19**

morceaux de sucre

Dans une bouteille de **500 ml de ketchup**, soit 3,8 morceaux pour 100 ml.

**3,8**

morceaux de sucre

Dans une boîte de **petits pois carottes** avec son jus. On retrouve la même quantité dans une boîte de ratatouille, par exemple.



→ il concerne 8,5 % de personnes sur Terre, dont 3,5 millions de Français. Fortement liées à l'alimentation, les maladies cardio-vasculaires augmentent aussi “à une vitesse stupéfiante dans les pays à bas et moyen revenu”. Enfin, les troubles hépatiques (et en premier lieu la stéatose, ou “maladie du foie gras”), pratiquement inconnus autrefois, frisent par endroits les 30 % de prévalence.

Aux Etats-Unis, 75 % des dépenses de santé sont englouties dans les maladies métaboliques... Autant dire que la prolongation de ces courbes serait une catastrophe mondiale, menaçant à la fois les personnes et les systèmes de santé.

### DES ENJEUX COLOSSAUX

Ce constat ne fait pas débat. Pas plus que l'idée qu'il faut réduire notre consommation de sucre, toutes formes

confondues, lorsqu'il est ajouté à nos aliments (voir ci-dessus). L'objet de la controverse, c'est de déterminer si ce sucre ajouté est un simple aliment calorique comme il en existe beaucoup d'autres, ou s'il s'agit d'un produit intrinsèquement toxique, principal responsable de la plupart des troubles listés ci-dessus, et capable de détériorer la santé même de ceux qui ne sont pas en excès calorique.

Comme pour le tabac, les enjeux économiques sont colossaux. Chaque année, 170 millions de tonnes de sucre sont vendues dans le monde, dont 2,8 millions en France, le premier producteur européen. Mais ce n'est pas tout. Les sucres sous leurs diverses formes (lire l'encadré) sont omniprésents dans les produits de l'industrie mondiale de l'alimentation, dont les recettes en 2016 approchaient les 400 milliards de dollars. Omniprésents car indispensables : non seulement pour leur goût, mais pour leurs effets sur la texture et la conservation des aliments.

Deux théories s'affrontent. La première, défendue par l'industrie, reste très majoritaire chez les nutritionnistes ; l'OMS et l'Anses y adhèrent également. Luc

## “Les” sucres, c'est quoi exactement ?

Le terme “sucres” désigne généralement tout ce qui a un goût sucré, à savoir le glucose, le fructose et le saccharose (le “vrai” sucre du commerce, constitué d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose), plus rarement le lactose et le maltose. Parmi ces sucres dits simples, nombre de scientifiques donnent un statut spécial au fructose en raison de ses effets délétères sur le foie – tout en considérant généralement que, consommé à l'état naturel dans un fruit, il est moins nocif que lorsqu'il est ajouté aux aliments. Des molécules comme l'amidon (un glucide complexe) se décomposent très facilement en glucose. Une minorité de chercheurs les juge donc aussi nocives que les sucres.





# 0,5

**morceau de sucre**

Dans un paquet de **quatre tranches de jambon blanc**. Selon les marques, la quantité varie du simple au triple pour un produit a priori équivalent.



# 1

**morceau de sucre**

Pour **deux tranches de pain de mie** environ. C'est deux fois plus que dans une demi-baguette de pain classique d'environ 100 g.



# 4

**morceaux de sucre**

Dans une **pizza** prête à cuire, soit la moitié de la dose quotidienne à ne pas dépasser selon l'OMS.



# 26

**morceaux de sucre**

Dans une bouteille de **500 ml de vinaigre balsamique**, soit environ 2,4 morceaux pour l'assaisonnement d'une salade (trois cuillères à soupe).

# 20

**morceaux de sucre**

Dans **1 litre de nectar de fruits**, soit environ 4 morceaux pour un verre de 200 ml.



Tappy, professeur de nutrition à l'université de Lausanne, qui a travaillé pour le géant agroalimentaire Nestlé et pour Ferrero (producteur du célèbre Nutella), la résume ainsi: "*le problème, c'est l'excès d'apport alimentaire*", qui "dépend étroitement de la quantité d'énergie que l'on dépense".

Une vision dite "calorcentrique", qui consiste à dire que le fondement des problèmes de santé actuels est que nous engrangeons plus de calories que nous n'en dépensons. Dans cette optique, une calorie est une calorie, elles se valent donc toutes et l'important est de ne pas en absorber trop.

Dès lors, le sucre n'apparaît coupable qu'en tant que source de calories. Et il existe un remède: l'exercice physique, puisqu'il est

théoriquement toujours possible de brûler des calories en faisant du sport. Si l'on veut sucer plus, il suffirait donc de bouger plus! Coca-Cola écrivait ainsi en 2013: "Vaincre l'obésité nécessite que chacun agisse sur la base d'un fait simple, de bon sens: toutes les calories comptent, peu importe d'où elles viennent, ce qui inclut le Coca-Cola et tous les autres aliments caloriques."

Cette vision a été largement inculquée aux parents. En dehors des caries, la plupart n'ont pas connaissance des nombreux dangers intrinsèques que comporterait le sucre, selon d'autres scientifiques (qui, eux, ne sont pas financés par l'industrie).

La première attaque de poids contre la théorie calorcentrique a eu lieu il y a cinq ans. Dans un

retentissant article publié dans la revue *Nature*, titré "La vérité toxique sur le sucre", le pédiatre et endocrinologue Robert Lustig, et deux de ses collègues de l'université de Californie, réservaient un statut particulier au sucre ajouté et appelaient à le réglementer aussi sévèrement que l'alcool ou le tabac, en particulier vis-à-vis des enfants.

"*Du point de vue du corps, une calorie n'est pas*

*une calorie*", argumente Robert Lustig. Le chercheur rappelle qu'une calorie se définit par la quantité d'énergie libérée lors de la combustion de l'aliment; or, le corps ne "brûle" pas, mais métabolise. →

“ ”

**ROBERT LUSTIG**

Pédiatre et endocrinologue à l'université de Californie, auteur de l'article "La vérité toxique sur le sucre"

*Tous les aliments ne sont pas métabolisés de la même façon : non, une calorie ne vaut pas une autre calorie !*

# L'événement

→ “Les calories présentes dans les amandes, par exemple, sont emprisonnées dans tellement de fibres que le corps investit 20 % de l'énergie qu'elles contiennent à les libérer, explique-t-il. Les protéines, elles aussi, contiennent des calories énergétiquement coûteuses à métaboliser. Il y a des aliments qui sont absorbés presque instantanément et sans effort, comme les sucres raffinés, et d'autres bien plus lentement. Dire que tout cela est équivalent et comptabiliser les calories entrantes et sortantes, c'est absurde !”

Pour cette école de pensée, l'obésité n'est donc pas la source du problème, mais un symptôme parmi d'autres. “20 % des obèses ont un métabolisme et une espérance de vie normaux, poursuit Robert Lustig, tandis que 40 % des non-obèses développent des troubles métaboliques, notamment hépatiques. Comment peut-on dire que l'obésité est la cause de tout le reste ?”

La grande question, pour ces chercheurs, c'est la perturbation du métabolisme hormonal, et en particulier de l'insuline, l'hormone clé du stockage des sucres. Et

c'est précisément là, selon eux, que la toxicité du sucre se révèle. “En manger élève la production d'insuline, laquelle agit comme un engras pour les adipocytes, les cellules du tissu graisseux, explique David Ludwig, professeur à Harvard et auteur de *Toujours faim ?,* qui souligne que le niveau d'insuline des Américains a été multiplié par trois au cours des dernières décennies. Immérés dans ce bain d'insuline, les adipocytes verrouillent l'accès aux graisses stockées, d'où l'obésité. En même temps apparaît une insulinorésistance, dont l'un des effets est un sentiment de faim permanent, qui marque l'installation du diabète.”

## HAUTEMENT ADDICTIF

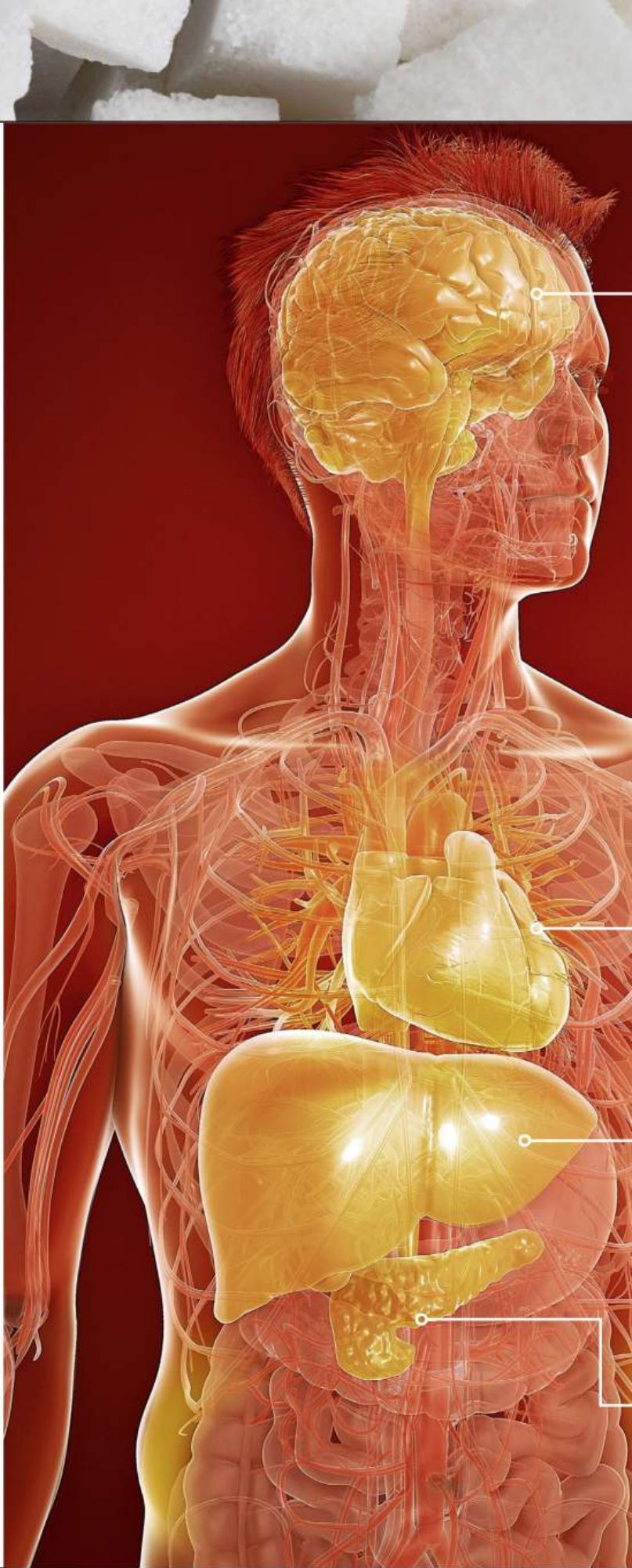
Mais comment un aliment aussi banal que le sucre, naturellement présent dans de nombreuses plantes, pourrait-il être毒ique ? De fait, durant 99 % de l'évolution humaine, le sucre, précieux car très énergétique, n'était véritablement disponible que dans les fruits, et à peine quelques mois par an. La quantité de sucre que le corps humain a, au fil des siècles, “appris” à

“

BORIS HANSEL

Nutritionniste et endocrinologue à l'hôpital Bichat (Paris)

Plutôt que sur le sucre, concentrons-nous sur les produits transformés, à la fois trop sucrés, trop salés et trop gras



# Comment le sucre affecte nos organes

Précieux pour l'organisme en tant que source d'énergie, le sucre peut devenir toxique lorsqu'il est en excès dans le sang, et détériorer nerfs et vaisseaux. Le corps dispose donc de mécanismes pour le détecter, le dégrader et le stocker. Mais de nombreuses études indiquent que ces mécanismes peuvent être débordés par des afflux de sucre trop importants. Des troubles surviennent alors dans différents organes.

## Il engendrerait une addiction

Selon certains chercheurs, le glucose atteindrait rapidement le **cerveau** après ingestion et activerait des récepteurs spécifiques de l'hypothalamus liés à l'addiction. Par ailleurs, en perturbant le métabolisme d'au moins deux hormones (la leptine, qui induit la satiété, et la ghréline, qui déclenche la faim), le sucre altère la capacité du cerveau à gérer, via l'appétit, l'absorption d'énergie.

## Il accroît le risque d'accident cardio-vasculaire

Le sucre fragilise le **coeur** et les **vaisseaux**, en particulier en élevant le taux de triglycérides (graisses) dans le sang. De nombreux articles concluent à un risque d'accident vasculaire plus élevé chez les consommateurs de sucre. Et notamment une grande étude conduite à Harvard, qui a évalué que la probabilité de crise cardiaque est augmentée de 15 % chez les personnes qui boivent un soda par jour.

## Il génère des maladies du foie

Le **foie** est impliqué dans le métabolisme du sucre. Il capte en particulier le fructose circulant et le transforme en graisses, au point parfois d'en devenir encombré – un trouble nommé stéatose hépatique, ou "maladie du foie gras". Beaucoup plus fréquente ces dernières années (jusqu'à 30 % de prévalence), elle peut dégénérer en cirrhose.

## Il crée une résistance à l'insuline

Les **adipocytes**, ou cellules graisseuses, stockent en grossissant (et, dans une moindre mesure, en se multipliant) l'excédent de graisses générées par les afflux de sucre. Trop sollicités, ils deviennent inflammatoires, ce qui engendre une résistance à l'insuline.

## Il provoque l'inflammation du pancréas

Le **pancréas** est un organe essentiel qui a notamment pour rôle la production d'insuline, l'hormone qui déclenche le stockage du sucre sanguin. La résistance à l'insuline, fréquente chez les gros consommateurs de sucre, l'oblige à entrer en surproduction... jusqu'à l'inflammation (pancréatite, qui peut dans certains cas devenir cancéreuse).

gérer est donc très faible, expliquent ces chercheurs. Cela fait moins d'un demi-siècle que l'industrie en produit, à partir de la betterave et de la canne à sucre, des volumes colossaux – le prix est tombé si bas que les boissons sucrées sont moins chères que l'eau dans la plupart des pays ! *"La nature avait fait le sucre rare, l'industrie l'a rendu omniprésent"*, résume Robert Lustig.

Et la controverse fait également rage autour d'un dernier sujet qui, là encore, évoque les débats sur la cigarette : l'addiction. Serge Ahmed et son équipe du CNRS, à Bordeaux, travaillent depuis dix ans sur la question. Et ils ont montré, sur des rats libres d'accéder à la fois à de la cocaïne et à de l'eau sucrée, que le sucre était la plus addictive des deux substances...

Les chercheurs bordelais ont également travaillé à partir de questionnaires adressés à des consommateurs de sucre, d'alcool et de cocaïne. *"Au final, rapporte Serge Ahmed, on constate qu'avec le sucre comme avec l'alcool, environ 10 % des personnes exposées vont développer une addiction – contre près de 20 % pour la cocaïne. Et je suis arrivé à la conclusion que la substance qui génère l'addiction au sucre est le glucose, qui agit directement sur les circuits neuronaux de la récompense."*

Cette opinion ne fait pas consensus : en novembre 2016, une revue de la littérature scientifique sur le sujet concluait que l'hypothèse

de l'introduction du sucre dans la liste des substances addictives était *"prématurée"*. Mais de nombreux nutritionnistes penchent néanmoins pour l'opinion de Serge Ahmed.

Les partisans de la théorie selon laquelle le sucre serait en soi toxique ont à l'évidence marqué des points. Bien que l'OMS continue de prôner l'approche caloricienne, elle a recommandé de réduire l'apport en sucres ajoutés à moins de 50 g (8 morceaux de sucre) par jour. Un seuil qu'en France, plus de la moitié des enfants dépassent...

Beaucoup de nutritionnistes français répugnent en effet à cibler particulièrement les sucres. Pour Boris Hansel, nutritionniste et endocrinologue à l'hôpital Bichat (Paris), *"plutôt que de focaliser sur le sucre, il faut se concentrer sur les produits transformés, qui ont en général une densité énergétique très importante, et sont à la fois excessivement sucrés, salés et gras"*. Il critique volontiers ceux qu'il soupçonne de *"trier les données pour valoriser ce sur quoi ils travaillent"*.

## DES ÉTUDES FINANCIÉES PAR L'INDUSTRIE

Complexé, ce débat l'est indiscutablement. Mais ici, la difficulté est aggravée par l'influence de l'argent industriel, dont l'ampleur n'a été véritablement révélée qu'en 2016. Certes, on sait depuis longtemps qu'il faut se méfier des études industrielles, pour les raisons que rappelle →

→ Boris Hansel: "Les études nutritionnelles coûtent cher, car il faut enrôler beaucoup de sujets et les observer longtemps. Or, il y a peu d'argent public pour cela, tandis que les industriels disposent de fonds de recherche importants. Le problème, c'est qu'ils ne financent que ce qui a un intérêt pour leur marketing. J'ai par exemple été contacté par un groupe pour montrer que ses yaourts avaient un effet protecteur sur le

a payé, en 1967, trois chercheurs influents de Harvard pour incriminer artificiellement les graisses et disculper le sucre dans les maladies cardiaques. Leur étude faussée, parue dans le prestigieux *New England Journal of Medicine*, aura réussi à influencer pendant des décennies les décisions de santé publique. Rappelant ici aussi les méthodes de l'industrie du tabac, dont les manipulations scientifiques sont aujourd'hui avérées.

innocentaient les boissons sucrées étaient toutes, sans exception, financées par l'industrie! Et sur les 34 autres, une seule avait perçu de l'argent industriel. Voilà comment une question qui fait consensus si l'on prend les études indépendantes devient controversée grâce aux fonds de l'industrie...

comme exercice (sauf chez les sportifs de haut niveau).

Du coup, en pratique, les premiers mettent plus facilement l'accent sur l'éducation, l'exercice et le comportement. "Ce qui est une façon de stigmatiser les patients", estime Robert Lustig. Tandis que les seconds réclament des mesures énergiques de régulation, comme la taxation des sodas, que l'OMS préconise déjà dans un rapport (où elle précise que leur prix devrait être augmenté d'au moins 20%). L'organisation suggère du reste une taxation proportionnelle au contenu en sucre, pour inciter l'industrie à en diminuer la quantité, et propose d'utiliser les recettes ainsi obtenues pour réduire le prix des aliments sains (fruits, légumes, etc).

Mais Robert Lustig et ses collègues estiment qu'il faut aller plus loin: interdire la vente de produits hypersucrés (sodas, bonbons, barres chocolatées...) aux mineurs, par exemple, à l'instar du tabac; interdire tout sucre ajouté dans les produits destinés aux enfants de moins de deux ans; interdire la publicité, surtout lorsqu'elle vise les mineurs; mettre en place un étiquetage clairement dissuasif...

Irréaliste? Dictatorial? La réponse du chercheur fuse: "Il y a 25 ans, on fumait dans tous les lieux publics et on trouvait cela normal. Aujourd'hui les manœuvres de l'industrie ont été dévoilées, et c'est notre permisivité d'alors qui paraît folle. Vous verrez, avec le sucre ce sera pareil."

## Le débat fait rage aussi pour les édulcorants...

Une série de molécules produisant un goût sucré ont été commercialisées ces dernières années: aspartame, sucralose, extrait de stévia, etc. Alors que certains accusent ces substituts d'être plus nocifs encore que le sucre, d'autres vantent leurs mérites et y voient une planche de salut. Il semble pour l'instant que ni l'un ni l'autre de ces points de vue ne s'appuie sur un dossier scientifique solidement étayé. C'est en tout cas l'avis – partagé par de nombreux spécialistes – que l'Anses a rendu en 2015 sur ces produits. L'agence insiste en revanche sur l'importance de ne pas habituer les enfants aux boissons édulcorées plutôt qu'à l'eau.

cholestérol, ce qu'on connaît depuis longtemps, et que nous avons confirmé sans surprise. Mais vous ne verrez jamais d'étude des effets du Nutella sur le cholestérol – qui irait les payer?"

Cependant, 2016 marquera peut-être un tournant, car la preuve a été faite que l'industrie va encore plus loin, et depuis longtemps. Des documents d'archives ont en effet révélé que l'industrie sucrière mondiale

Plus saisissant encore, cet article paru dans les *Annals of Internal Medicine*, en octobre 2016. Ses auteurs ont recensé toutes les études qui se sont attaquées à ce qui est, au fond, le problème fondamental: les boissons sucrées causent-elles, oui ou non, l'obésité et le diabète? Sur 60 études, 26 répondaient non, et 34 oui. Les chercheurs ont ensuite examiné leur financement. Verdict: les 26 études qui

### Musicalité, précision et rapidité exceptionnelle !

**NOUVEAU**



**375€**  
seulement!

ou  
**3x 125€**

[LIVRAISON RAPIDE  
COLISSIMO  
OFFERTE]

PAIEMENT  
**3X SANS  
FRAIS**

Visuels non contractuels

Cette platine Planar 1, qui succède à la déjà remarquable RP1, bénéficie encore d'améliorations évidentes : davantage de densité, de précision, de richesse et même de réalisme. Tout est nouveau : le bras de lecture qui limite toute forme de friction, le moteur à la fois silencieux et stable, le plateau de 23 mm en phénolique. Nuances, acuité rythmique et beauté des timbres frisent la perfection, au bénéfice d'une qualité sonore irréprochable et d'un sens musical hors norme.

#### Platine vinyle REGAPLANAR 1

Type PLATINE ANALOGIQUE AVEC ENTRAINEMENT PAR COURROIE INTERNE. BRAS REGA RB110. CELLULE REGA CARBON (MM). Dimensions : 45 x 36 x 12 CM. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE. GARANTIE 1 AN.

**Pensez au kit de nettoyage ! - 16,90€**

CHIFFON, LIQUIDE DE NETTOYAGE, BROSSE DOUCE EN FIBRE DE CARBONE.

Découvrez  
toute notre sélection sur  
**BOUTIQUE.SCIENCE-ET-VIE.COM**



## BON DE COMMANDE

### POUR COMMANDER ET S'INFORMER

**boutique.science-et-vie.com**  
Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais®, PayPal®

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à  
**La Boutique SCIENCE & VIE - CS 90 125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9**

**01 46 48 48 83** (6 jours/7 paiement CB uniquement)

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Platine vinyle REGAPLANAR 1	409.367	x	<b>375€</b>	= <b>€</b>
Kit de nettoyage pour disques	373.720	x	<b>16,90€</b>	= <b>€</b>
<b>SOUS-TOTAL</b>				<b>€</b>
<b>Frais d'envoi offerts</b> Livraison rapide Colissimo <b>GRATUIT</b>				
<b>TOTAL</b>				<b>€</b>

Offre valable uniquement en France métropolitaine pendant deux mois dans la limite des stocks disponibles. Délai de livraison des produits : maximum 2 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-21 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 14 jours pour changer d'avis et nous renvoyer votre colis dans les mêmes conditions que lors de la réception. Si ce délai est dépassé, il sera impossible de vous rembourser et le droit de retour sera à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessous sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori, Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus

Conformément aux dispositions du Code de la consommation concernant le règlement amiable des litiges, Science & Vie adhère au Service du Médiateur de l'e-commerce de la FEVAD (Fédération de l'e-commerce et de la vente à distance) dont les coordonnées sont les suivantes : 60 Rue La Boétie - 75008 Paris – <http://www.mediateurfevad.fr>. Après démarche préalable écrite des consommateurs vis-à-vis de Science & Vie, le Service du Médiateur peut être saisi pour tout litige de consommation dont le règlement n'aurait pas abouti. Pour connaître les modalités de saisine du Médiateur : [www.mediateurfevad.fr/index.php/espaces-consommateurs](http://www.mediateurfevad.fr/index.php/espaces-consommateurs).

À RENVOYER DANS UNE  
ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÉGLEMENT À :  
**LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 90 125 - 27 091 ÉVREUX CEDEX 9**

► CODE COMMANDE : **410.027**

#### > Mes coordonnées

M.  Mme  M<sup>le</sup>

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Complément d'adresse  
(résidence, lieu-dit, bâtiment) \_\_\_\_\_

CP | | | | Ville \_\_\_\_\_

Tél. \_\_\_\_\_ Grâce à votre N° de téléphone (portable) nous pourrons vous contacter si besoin pour le suivi de votre commande.

E-mail \_\_\_\_\_

Je souhaite bénéficier des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori)

#### > Mode de paiement

Je règle par chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE

en 1 fois la totalité de ma commande

en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

Je règle par carte bancaire

en 1 fois la totalité de ma commande

en 3 fois sans frais (à partir de 99€ d'achat)

Carte bancaire N° \_\_\_\_\_

Expire fin : | | / | | Date et signature obligatoires

Cryptogramme | | | | Les 3 chiffres au dos de votre CB

PAIEMENT  
**3X SANS  
FRAIS**



ALGORITHMES

# UNE NOUVELLE INTELLIGENCE EST NEE

À LA  
UNE

Imaginez une intelligence différente de la nôtre. Qui pense autrement. Perçoit le monde d'une façon qui nous échappe. Une intelligence extraterrestre ? Sauf que cette intelligence ne vient pas de l'espace : elle est le fruit des nouveaux algorithmes qui équipent le dernier cri des programmes informatiques. A la clé ? Pour résoudre un problème ou effectuer une tâche, ces algorithmes ont leur propre logique... qui n'est pas la nôtre. Et ça marche ! Par quel prodige ? Leurs concepteurs eux-mêmes l'ignorent. Mais c'est fait : ils sont en train de créer la première intelligence à n'avoir pas été façonnée par des millions d'années d'évolution. Reste maintenant à savoir si on peut se fier à elle.

PAR VINCENT NOUYRIGAT

**M**aginez qu'une soucoupe volante se pose devant vous. Une porte s'ouvre; une silhouette s'avance. Vous êtes en train de vivre une scène fantasmatique: la première rencontre avec une intelligence extraterrestre. Voilà à peu près ce qui se joue actuellement dans les laboratoires informatiques les plus en pointe. La première rencontre avec une intelligence venue d'ailleurs.

Car, désormais, il ne se passe plus une semaine sans que nous parvenne l'exploit de tel ou tel système d'intelligence artificielle surpassant les meilleurs humains dans des domaines qu'on croyait réservés à notre singulière espèce: reconnaissance de visages, lecture sur les lèvres, diagnostics médicaux, prédition de décisions de justice ou encore jeux subtils comme le poker, le go ou Jeopardy!. Stupéfiants de pertinence, ces programmes informatiques promettent des révolutions imminentes dans à peu près tous les secteurs.

Derrière cet engouement planétaire se cache, en fait, l'émergence d'une nouvelle famille d'algorithme au nom éloquent: les réseaux de neurones profonds. "L'aboutissement de plusieurs décennies de travaux inspirés entre autres par la structure du cerveau humain", pose Léon Bottou, l'un des pionniers du domaine, aujourd'hui chercheur à Facebook. Biologie, traitement du signal, mathématiques et informatique se sont conjugués ici pour donner vie à une machine radicale, un monstre d'optimisation capable de dé-cortiquer notre monde comme aucun autre système artificiel. Et comme sans doute aucun être vivant.

Ces algorithmes sont tellement puissants qu'il faut bien se rendre à l'évidence: une nouvelle forme d'intelligence a débarqué sur Terre!

"Les réseaux de neurones profonds réalisent des performances dont on n'osait même pas rêver il y a encore cinq ans", admire Martial Hebert, directeur de l'Institut de robotique de l'université Carnegie-Mellon (Pittsburgh). Jusqu'alors, la recherche

F. LEWIS/ARCHIVE PHOTOS/GETTY IMAGES - IBM - UBER - CHINA STRINGER NETWORK/REUTERS

# L'irrésistible avènement des réseaux de neurones profonds



## 1957 LA NAISSANCE

Au Laboratoire aéronautique de Cornell, Frank Rosenblatt met au point le perceptron, un algorithme de classement des images inspiré des théories cognitives en vogue. Le premier neurone artificiel est né.

## 1969 LES PREMIERS DOUTES

Considéré aujourd'hui comme le père de l'intelligence artificielle, Marvin Minsky exprime ses doutes dans un livre sur la capacité d'apprentissage de ces réseaux de neurones.

en intelligence artificielle enchaînait les résultats décevants. Et pour cause: les méthodes employées cherchaient à modéliser puis à coder, dans les moindres détails, toute la complexité d'un objet, d'une tâche à accomplir ou d'un raisonnement. Autant dire, une quête impossible.

Les réseaux de neurones profonds ont radicalement changé la donne: ces robots sont capables d'apprentissage! "La grande force de cette technique est qu'elle prend en compte toutes les informations du monde réel à disposition, sans qu'il soit besoin de les lui détailler", insiste Martial Hebert. A présent, les informaticiens se gardent donc bien d'établir une description logique et pointilleuse du monde réel – comme expliquer le concept de chat; ils se contentent de fournir à ces machines des dizaines ou des centaines de milliers d'exemples afin qu'elles apprennent d'elles-mêmes. Nourri d'innombrables photos de chats, l'algorithme saura dire, face à une image nouvelle:

ceci ressemble, ou pas, à un chat. Et, le plus souvent, ça marche!

Les partisans de cette approche ont longtemps constitué une petite communauté isolée. Pour sortir de l'ombre, il leur aura fallu attendre l'arrivée de bases de données gigantesques – les fameuses big data – afin d'entraîner efficacement ces machines. Et compter sur les progrès des cartes graphiques, très efficaces pour faire tourner ces systèmes.

## L'EXPLOIT QUI A TOUT FAIT BASCULER

Enfin, pour briser l'indifférence du monde académique, il aura surtout fallu attendre un premier exploit en 2012 (voir chronologie): "J'ai été totalement impressionné par ces résultats très au-dessus de l'état de l'art de la reconnaissance d'images naturelles", se souvient Jean Ponce, spécialiste de la vision artificielle à l'Ecole normale supérieure. En quelques mois à peine, toute la communauté abandonnera ses vieilles méthodes pour les réseaux de neurones profonds.



## 1989 UNE NOUVELLE ARCHITECTURE

Le chercheur français Yann LeCun propose une nouvelle architecture de réseau de neurones, le réseau convolutif, inspiré du cortex visuel des mammifères. Cette évolution technique aura par la suite un impact considérable sur la reconnaissance d'images.

Depuis, ces algorithmes implacables n'ont cessé de gagner en précision. Au point de troubler leurs propres concepteurs. Certains spécialistes parlent ouvertement d'"efficacité déraisonnable". "Ce qui m'intrigue le plus, c'est que cela marche si bien!" confie ainsi Jason Yosinski, chercheur en intelligence artificielle chez Uber.

Ce flou s'explique aisément, reprend Anh Nguyen, à l'université du Wyoming: "Par principe, nous ne voulons pas dicter explicitement à ces algorithmes comment résoudre tel ou tel problème, il leur revient de trouver leur propre stratégie optimale!" Une stratégie qui semble parfois inattendue, incompréhensible, insaisissable. En un mot: inhumaine.

De fait, les réseaux de neurones artificiels comportent une large part d'étrangeté. Logique: l'architecture de ces "cerveaux" informatiques, conçus de manière très empirique, ne ressemble que de loin à notre appareil cérébral. Et puis, "à la différence de ces machines, notre cerveau ne part

## 1996 LA PREMIÈRE RECONNAISSANCE

Les réseaux convolutifs commencent à être employés par des banques pour la lecture automatique de chèques (avec cependant un taux de rejet de 49%).

*pas de rien, il comporte un précodage issu de millions d'années d'évolution*", relève Yann Ollivier, mathématicien au Laboratoire de recherche en informatique (université Paris-Sud). Ces algorithmes sont une intelligence neuve et cela change tout.

Pour la première fois, les hommes se trouvent confrontés à une forme d'intelligence à la fois inédite et fondamentalement différente. "Il est fascinant de pouvoir comparer les représentations internes de ces machines à la cognition des animaux ou des humains", savoure Jeff Clune, chercheur à l'université du Wyoming.

Que se passe-t-il dans leur "tête"? Comment ces algorithmes perçoivent-ils le monde? Ont-ils des pensées, des concepts, des inventions qui leur sont propres? Nous cachent-ils quelque chose, à nous, leurs créateurs?

Une rencontre du troisième type est bel et bien en cours, et ce n'est pas du cinéma.

## 2011 LE PREMIER COUP DE MAÎTRE

Watson, le monstre d'IBM maître en apprentissage statistique, bat deux champions humains au Jeopardy!, un jeu pourtant très culturel, où il faut trouver la question qui correspond à une réponse donnée.

## 2012 LA PERFORMANCE QUI CHANGE TOUT

Le réseau de neurones profond d'un laboratoire canadien parvient à afficher, lors d'un concours de reconnaissance d'images, un taux d'erreur de "seulement" 15,3%, contre 26,2% pour le second du classement, conçu selon des méthodes classiques d'intelligence artificielle.

## 2016 LES RÉSEAUX PRENNENT LE VOLANT

La firme Uber propose, à Pittsburgh, un service de voitures autonomes pilotées pour l'essentiel par des réseaux de neurones profonds; un technicien reste toutefois à bord, à la place du conducteur.



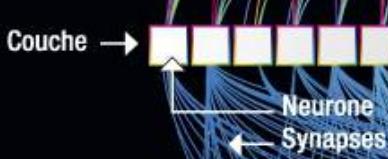
## 2017 LES HUMAINS DÉPASSEZ

Après avoir battu un grand maître du jeu de go en 2016, AlphaGO écrase en trois parties le meilleur joueur humain du moment, le génie chinois Ke Jie. L'algorithme de Google vient d'être mis à la retraite, faute de concurrence.

# RÉSEAUX DE NEURONES

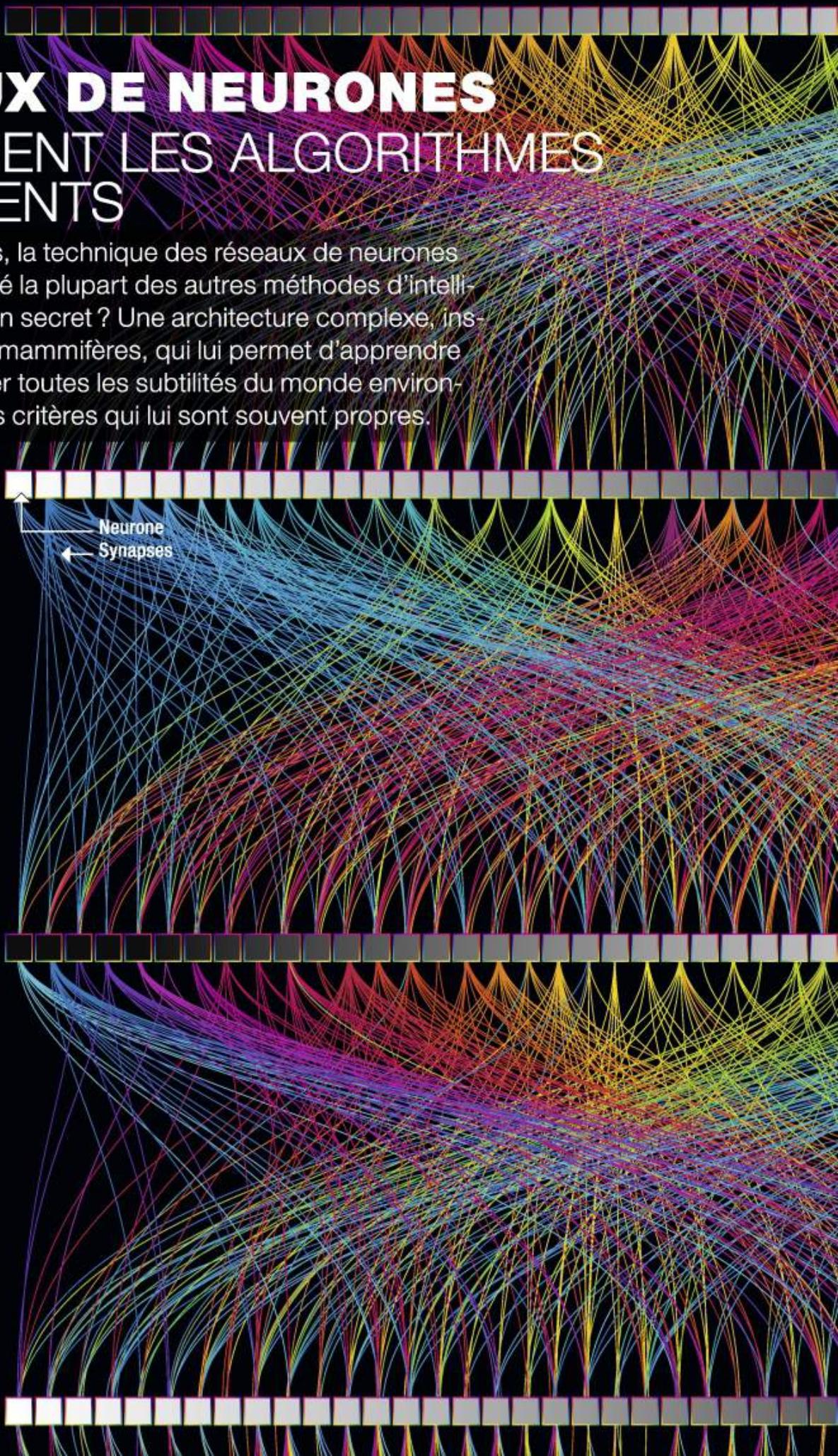
## ILS RENDENT LES ALGORITHMES INTELLIGENTS

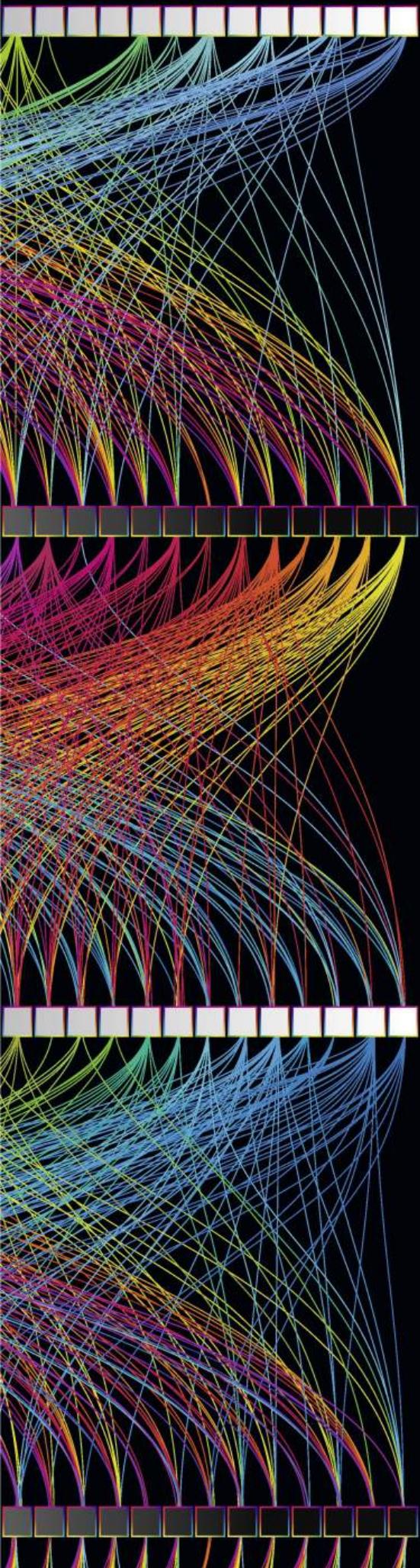
En quelques années, la technique des réseaux de neurones profonds a supplanté la plupart des autres méthodes d'intelligence artificielle. Son secret ? Une architecture complexe, inspirée du cortex des mammifères, qui lui permet d'apprendre aisément et de traiter toutes les subtilités du monde environnant. Mais selon des critères qui lui sont souvent propres.



### C'est quoi ?

Un réseau de neurones profond est un vaste programme informatique constitué de centaines ou de milliers de fonctions mathématiques (les "neurones") organisées en plusieurs couches logicielles successives (le réseau plus imposant à ce jour en compte 152). Les neurones d'une couche sont reliés à ceux des couches suivante et précédente. Chacun d'eux traite, selon des transformations hautement non linéaires (sigmoïdes, tangentes hyperboliques), les signaux qu'il reçoit de la couche précédente et propage le résultat en sortie vers les neurones de la couche suivante. Le niveau d'information devient de plus en plus sophistiqué à mesure que l'on s'enfonce dans le réseau.

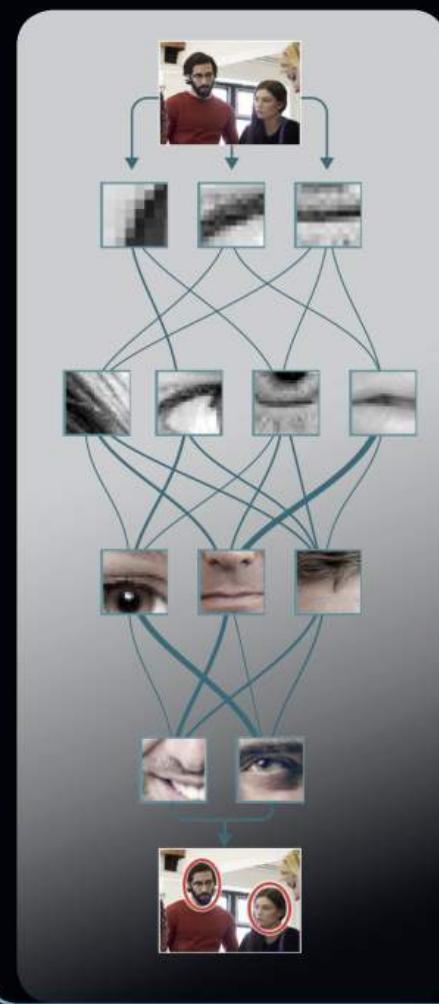




## Comment ça marche ?

### 1. L'apprentissage

Il consiste à soumettre à un réseau de neurones des millions d'images annotées (même les sons sont des images...). Ici, le réseau s'entraîne à reconnaître la structure sous-jacente d'un visage : yeux, nez, bouche, forme du crâne... L'intensité des liens entre les neurones s'ajuste pour minimiser l'erreur en sortie : ceci n'est pas un arbre mais un visage.



### 2. Des réponses intelligentes

Après cet apprentissage, les chercheurs confrontent la machine à des images inédites, jamais rencontrées lors de l'entraînement. Objectif : juger de la capacité du robot à généraliser ce qu'il a appris ; par exemple, le réseau de neurones doit pouvoir repérer si les images contiennent des visages.

# L'INTELLIGENCE QUI DÉFIE NOTRE ENTENDEMENT

*Perception, analyse, décryptage, déduction... les réseaux de neurones profonds nous confrontent pour la première fois à une forme d'intelligence radicalement différente de la nôtre. La preuve par 8.*

C'est une autre manière de voir le monde. Une autre manière de percevoir les couleurs d'un coucher de soleil, la forme d'une roue, les traits d'un visage, les premières notes de musique d'une chanson populaire; une autre manière de comprendre; une autre manière d'imaginer de nouveaux objets ou de trouver des solutions inédites à un problème.

Depuis environ cinq ans, plusieurs équipes de recherche se sont lancées dans l'exploration des profondeurs de ces inédits "cerveaux" algorithmiques. Des neurologues d'un nouveau genre auscultent, testent et tentent de mesurer l'activité des différentes couches de neurones artificiels dont les rouages paraissaient jusqu'ici totalement opaques. "Nous mettons au point des outils pour éclairer l'intérieur de ces systèmes, et transformer ces boîtes noires en... boîtes grises", s'enthousiasme Jeff Clune, chercheur à l'université du Wyoming.

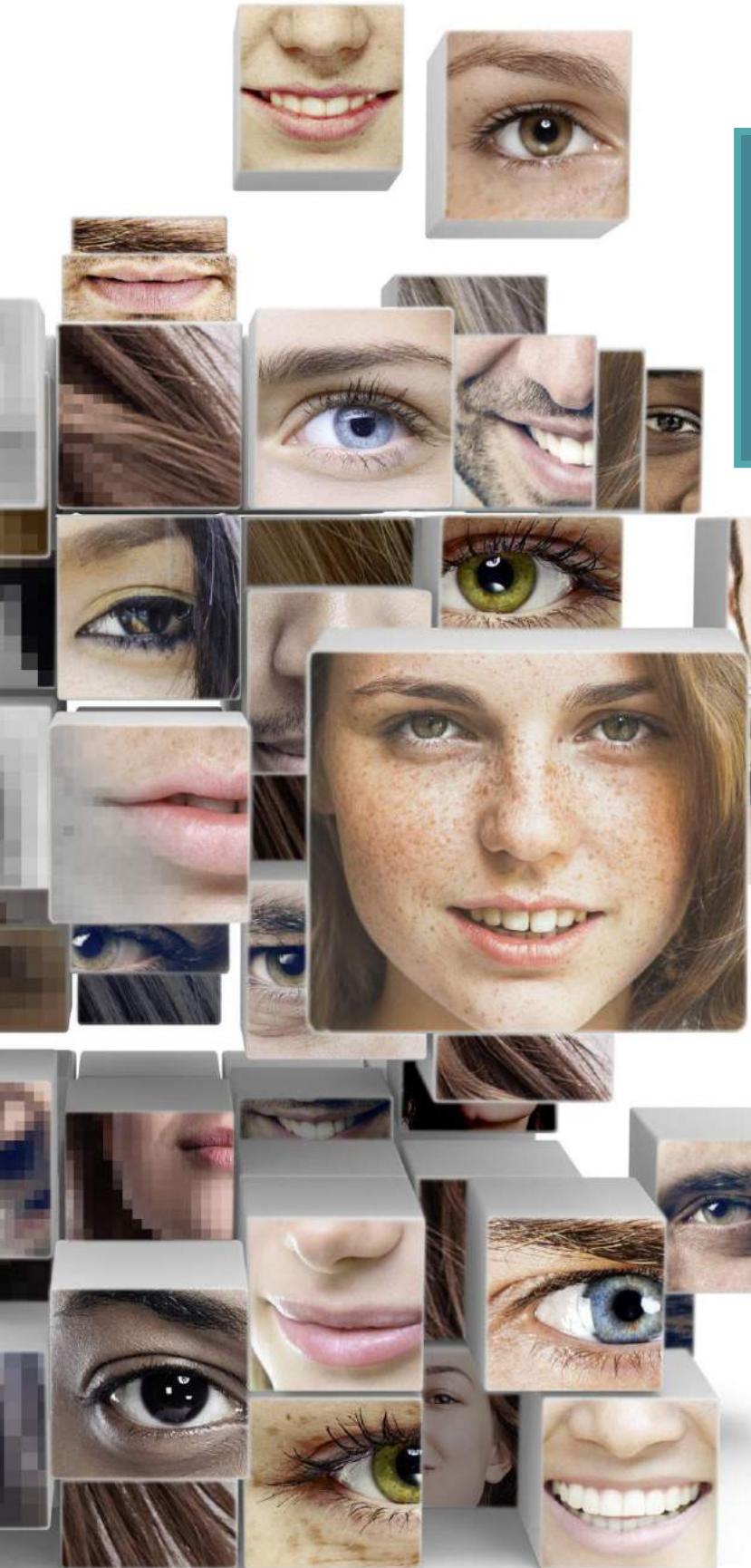
## DE TROUBLANTES RESSEMBLANCES

Ces dissections informatiques ont déjà permis de détecter les premières étincelles de ces intelligences littéralement "non-humaines". Des phénomènes tout à fait troublants, parfois étonnamment proches de nos processus cognitifs, parfois profondément

étranges. Et l'on ne peut s'empêcher d'y voir les signes d'une véritable perception, d'une capacité d'attention, d'abstraction, de compréhension, de créativité...

Même si la plupart des informaticiens préfèrent considérer les réseaux de neurones comme de froides fonctions mathématiques crachant leurs résultats, aussi brillants soient-ils, comme de vulgaires sinus ou cosinus... difficile de ne pas faire le parallèle avec notre propre cognition. "Les réseaux de neurones traitent les images qu'ils reçoivent d'une manière comparable à celle de notre cortex avec sa succession d'aires cérébrales – appelées V1, V2, V3, etc. – qui construisent une représentation de





## UNE VISION DU MONDE COMPLÈTEMENT INÉDITE

Comme notre cortex visuel, ces algorithmes sont structurés en couches successives de neurones, les premières détectant des motifs élémentaires (contours, angles, couleurs), tandis que les dernières repèrent des formes de plus en plus complexes et structurées (œil, nez, bouche, visage). Contrairement à nous, ces machines ont accès à toutes ces couches à la fois. D'où une vision plus hiérarchisée et plus complète, et un champ d'analyse plus profond.

*plus en plus complexe du signal visuel", analyse*

Matthew Zeiler, spécialiste en vision artificielle à l'université de New York. En revanche, "les intelligences artificielles ont peut-être une vision encore plus complète, au sens où les humains n'ont pas consciemment accès à toute cette hiérarchie de formes et de couleurs", fait remarquer Vincent Vanhoucke, directeur de recherche à l'équipe Google Brain.

Ces algorithmes présentent aussi une forte sensibilité aux variations de brillance, qui leur permet de déceler dans une image sombre des détails qui échappent totalement aux yeux humains.

## CONCENTRÉ SUR LES YEUX DES LIONS

Cette perception exacerbée, doublée d'une puissance statistique inhumaine, entraîne des comportements assez inédits lorsqu'il s'agit de repérer les traits les plus pertinents d'une image. "Les études que nous avons menées l'année dernière montrent une faible corrélation entre les zones d'attention visuelle des humains et celles des machines exposés à une même image", soulève Abhishek Das, doctorant à Georgia Tech. Autrement dit: même lorsqu'ils affichent des niveaux de performances comparables à ceux des humains,

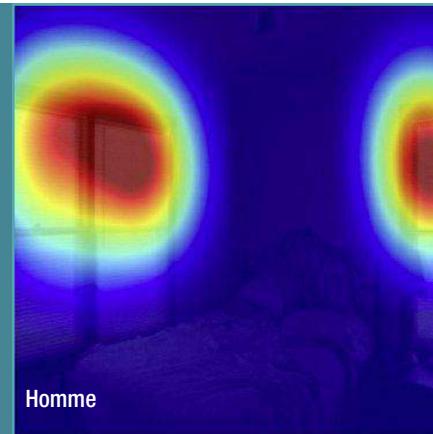
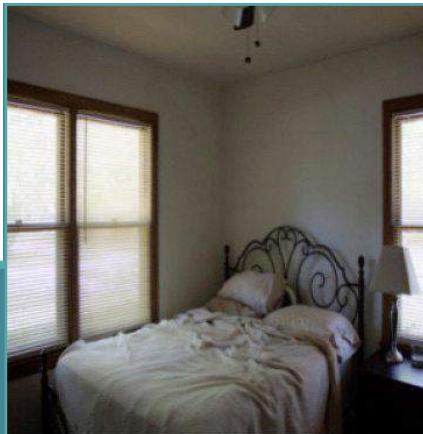
À LA  
UNE

# LES PRODIGES DE L'INTELLIGENCE ALGORITHMIQUE

Voici 8 exemples de stratégies inventées par la machine aussi efficaces que désarçonnantes...

## Elle fixe le lit pour savoir s'il y a des rideaux

Des chercheurs de Virginia Tech ont voulu comparer les zones d'attention d'un algorithme à celles d'un humain. A la question: "Qu'est-ce qui recouvre les fenêtres?", l'homme regarde logiquement les fenêtres, tandis que le robot se focalise sur la lumière réfléchie par le couvre-lit...



→ les robots ne regardent pas forcément les mêmes parties d'une image pour l'évaluer.

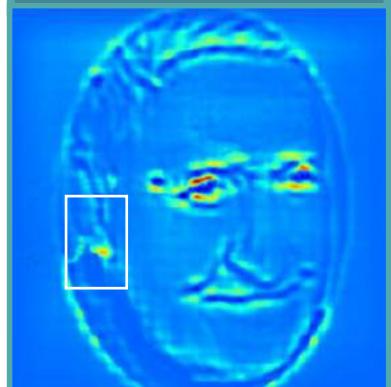
Bizarre, vous avez dit bizarre? "Les régions que scrutent les machines pour prendre leurs décisions sont parfois très surprenantes, confie Jason Yosinski chercheur au laboratoire d'intelligence artificielle d'Uber. Sur l'un de nos systèmes entraînés à reconnaître des animaux, nous avons eu la surprise de découvrir qu'il classait correctement les lions en se concentrant sur leurs yeux plutôt que sur leur crinière, qui dédiés à la musique et doivent classer chaque morceau, après 30 secondes d'écoute, dans leur catégorie correspondante (pop, rock, reggae, blues, jazz, country, disco, etc.). "Force est de constater que leurs éléments de prise de décision sont très différents des nôtres, observe Bob Sturm, chercheur à l'université de Londres. Nous avons découvert récemment qu'un de ces systèmes aboutissait à des performances impressionnantes de précision en se concentrant seulement sur des informations situées au-dessous de 20 Hz, c'est-à-dire des infrasons inaudibles pour les humains..." Pur artefact? Ou informations pertinentes qui avaient jusqu'ici échappé à notre sagacité et à nos sens – à l'image d'un animal qui percevrait des vibrations

inaccessibles pour nous? Mystère.

Mais ces réseaux de neurones ne sont pas seulement de curieuses machines à détecter et percevoir... Ils semblent capables d'abstraction. Les premiers indices ont été repérés en 2012 par une équipe de recherche de Google. Leur expérience avait consisté à faire défiler devant un réseau de neurones, pendant une

## Elle regarde les oreilles pour évaluer un âge

Ce système de détection des visages, décortiqué récemment par des chercheurs de l'université de Berlin, repère les personnes âgées non par leurs cheveux blancs mais... par la forme de leur lobe d'oreille (qui grandit en effet tout au long de la vie).



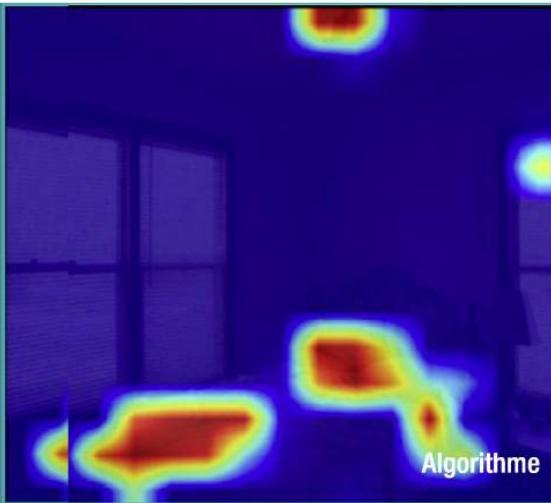
## Les chercheurs ne cessent d'être surpris par leurs créatures

A.DAS ET AL., W.SAMEK ET AL., R.DAHL ET AL.

nous semble pourtant si caractéristique! Peut-être était-ce un moyen pour lui de discriminer avec le chow-chow, une race de chien présentant également une crinière." Voilà le prodige d'une intelligence qui ne fonctionne pas comme la nôtre.

Les algorithmes ont aussi une manière assez exubérante d'écouter. Certains réseaux de neurones sont en effet

semaine, quelque dix millions de captures d'écran de vidéos You Tube sans aucune indication sur leur nature; on parle d'"apprentissage non supervisé". En explorant ensuite les couches profondes de ce système, les chercheurs ont découvert qu'un neurone particulier réagissait désormais fortement à la présence de visages humains sur une image, tandis qu'une autre unité de traitement



## Elle écoute la musique sur des fréquences inaudibles

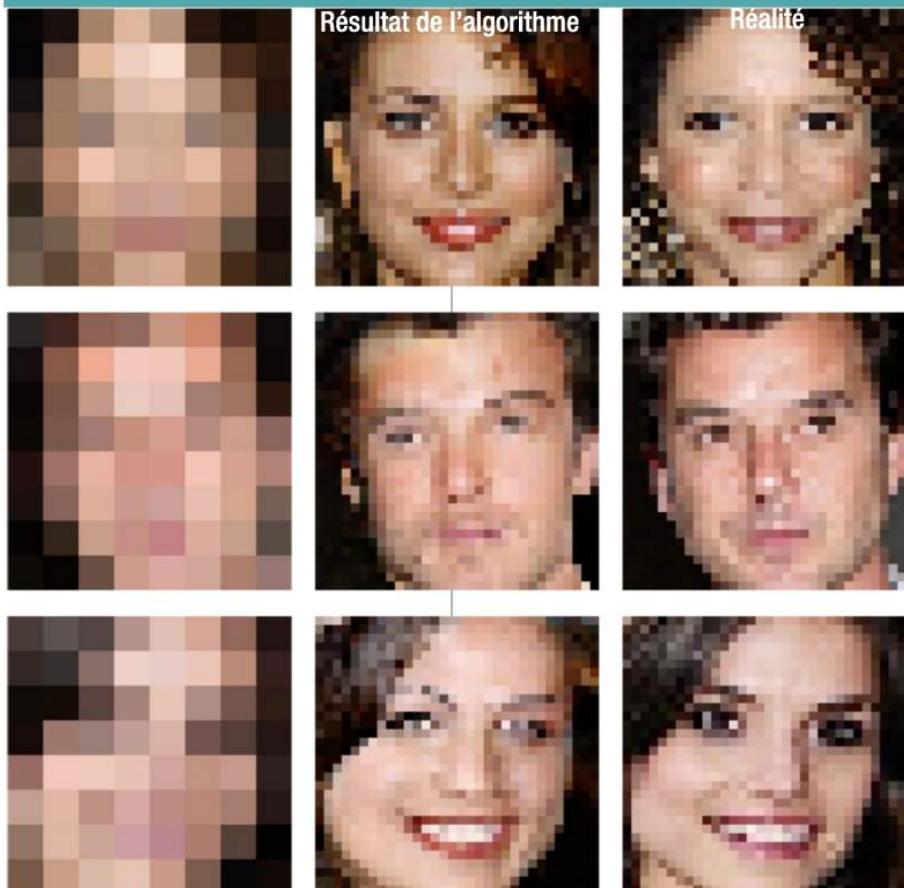
Des informaticiens de l'université de Londres ont soumis un réseau de neurones à un exercice de classification musicale. Surprise: l'algorithme se fonde sur des fréquences inférieures à 20 Hz, inaudibles aux humains.

s'activait, elle, à l'apparition de... chats. La machine avait découvert par elle-même, à force de visionnage, la structure sous-jacente des visages et des chats – très présents sur le web. Comme si ce “cerveau” algorithmique avait ébauché ses premiers concepts, sans pouvoir les nommer et sans en avoir conscience évidemment. “Ce réseau de neurones doté d'un milliard de connections était entraîné à l'aveugle, il ne cherchait rien de particulier, insiste Vincent Vanhoucke. L'algorithme a conceptualisé de lui-même l'apparence des chats, ce qui peut s'apparenter à un niveau très primitif de compréhension.”

Ces mécanismes intrigants font écho à une vieille théorie en neurosciences qui voudrait que certains de nos neurones humains soient à eux seuls responsables de la détection de stimuli très complexes, comme le visage de sa grand-mère; en 2005, une

## Elle reconstitue un visage à partir d'une image floue

Des chercheurs de Google ont soumis une image très grossièrement pixélisée – un carré de 8 pixels par 8 pixels – à un algorithme de reconnaissance faciale: la machine s'est montrée capable d'imaginer un visage assez convaincant de la personne qui se cachait derrière.



étude menée par des chercheurs de l'université de Californie avait ainsi repéré un neurone s'activant à l'apparition ou à l'évocation de l'actrice Halle Berry – même déguisée en Catwoman.

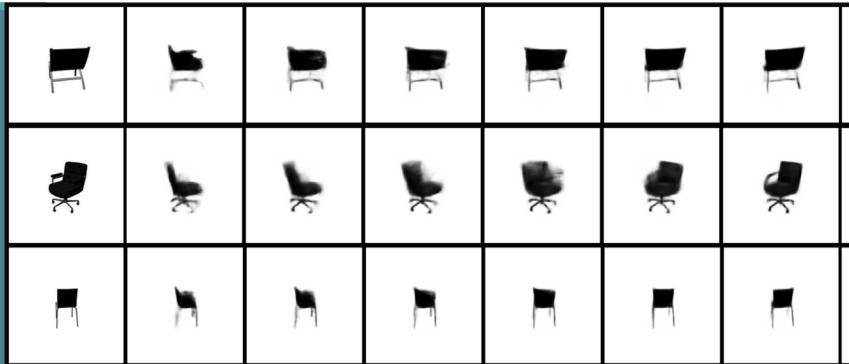
### UNE PERCEPTION EN PROFONDEUR

Depuis l'expérience de Google, les chercheurs débusquent régulièrement, dans les entrailles de leurs algorithmes, des neurones codant spécifiquement pour des fruits, des légumes, des fenêtres, des lettres... Quels que soient leur pose, leur orientation, la luminosité ou le contexte. Une équipe du MIT a mis en évidence, en 2015, la faculté de

certains groupes de neurones à extrapoler, à partir d'une seule photo, les différentes vues dans l'espace d'une chaise – en sachant tenir compte de la présence d'accoudoirs, par exemple. “Nos récents travaux sur la rotation d'objets (chaises, tables) montrent que les algorithmes comprennent d'une certaine manière la nature en trois dimensions des objets et leurs différentes facettes”, témoigne Thomas Brox, chercheur en informatique à l'université de Fribourg. Début avril, une équipe de l'institut américain OpenAI a même découvert, dans une couche d'un robot dédié à l'analyse de sentiments dans les commentaires du site Amazon, un neu-

## Elle conçoit des chaises au design inédit

Un algorithme étudié par une équipe de l'université de Fribourg a été capable de générer spontanément de nouveaux styles de chaises et de tables à partir des images de mobilier dont il disposait. Ce système semblait même exploiter ses connaissances dans la catégorie des tables pour générer... des chaises.



→ rone qui réagissait violemment aux sentiments positifs et négatifs. Drôle d'organisation cérébrale...

Une chose est certaine : ces "cerveaux" électroniques crépitent en permanence ! Chaque exploration, ou presque, est l'occasion d'une nouvelle découverte. En 2014, une équipe du MIT avait ainsi analysé un système entraîné pour la reconnaissance de scène – voici un restaurant, ceci est une plage ou une chambre à coucher, etc. Les chercheurs avaient constaté l'apparition spontanée dans les couches profondes de détecteurs dédiés à certains objets caractéristiques (canapé, livre, fruit, etc.). Des systèmes de localisation de ces objets dans l'image apparaissaient également. "C'est surprenant car ils n'ont pas été entraînés spécifi-

## Une intelligence qui n'a pas conscience d'elle-même

quement pour cela, on ne leur avait donné aucune information sur les objets en tant que tels", réagit Bo-lei Zhou, spécialiste en vision artificielle au MIT. Surprenant, bien que très logique : la présence d'un lit est un indicateur statistique très efficace pour détecter une chambre à coucher.

Mais le fait est que, nourris d'images de chambres à coucher, les réseaux de neurones saisissent de manière implicite l'essence même des objets qui les composent (lit, chaise, fenêtre, porte, etc.) et la logique de leur localisation dans l'espace. A partir de ces représentations internes, certains modèles parviennent à produire des images de chambres à coucher complètement nouvelles et à laquelle nul designer n'avait encore jamais pensé – et, cependant, leur aspect et leur agencement paraissent tout à fait crédibles ! "Ces modèles génératifs produisent des images artificielles plausibles, et permettent d'imaginer des mondes qui n'existaient pas avant", s'émerveille Vincent Vanhoucke, de Google Brain.

Autre exploit "intellectuel" : plusieurs algorithmes ont déjà prouvé leur capacité à produire des musiques originales, et leur compréhension de la musique semble si profonde que la start-up française

Aiva prévoit de leur demander de terminer les plus célèbres morceaux inachevés de la musique classique – ce logiciel a déjà accédé au statut de compositeur à la Sacem.

*"Les processus neuronaux sous-jacents sont certainement similaires à ce qui se passe dans un cerveau humain,* avance Martial Mermilliod, du Laboratoire de psychologie et neurocognition (université de Grenoble). Avant d'ajouter, comme un bémol : *"Mais peut-on parler de créativité sans conscience ni émotion?"* Le débat n'est pas près d'être clos.

Images, sons, textes... Pour autant, les concepts qui émergent au sein des machines sont loin d'être tous aussi clairs ou interprétables. En réalité, nombre de stimuli visuels activent de larges réseaux de neurones qui semblent impossibles à démêler. *"Dans le réseau que nous avons analysé, entre un tiers et la moitié des neurones ne s'activaient jamais seuls ou alors s'allumaient pour des concepts qu'il nous est difficile de nommer,* reconnaît Bolei Zhou. Ces réseaux ont leur propre appréhen-

## Elle invente son propre langage

Une équipe de Google a découvert, dans un modèle de traduction automatique multilingue, l'émergence d'une forme d'interlangue, une sorte d'espéranto. L'algorithme s'est avéré capable, en effet, de traduire correctement une paire de langues – en l'occurrence, du portugais à l'espagnol – pour laquelle il n'avait reçu aucun apprentissage.



## Elle exploite des concepts que nous ne savons pas définir

Des scientifiques du MIT ont analysé l'activation des neurones d'un système de reconnaissance visuelle: entre un tiers et la moitié de ces unités s'activaient pour des motifs, des formes, des concepts qui ne correspondent à rien de connu – en tout cas, qu'il nous est difficile de nommer.



sion visuelle du monde, qui ne correspond pas toujours à des notions humaines." En clair: les chercheurs n'excluent pas que les intelligences artificielles parviennent à de fulgurants résultats en exploitant des formes qui n'ont rien de naturel ou de canonique – pour nous. "Notre vocabulaire humain est très limité et eux n'ont pas de limites!" lâche Martial Hebert, directeur de l'institut de robotique de Carnegie Mellon, à Pittsburgh.

### DES FACULTÉS INSAISISSABLES

Cette forme de compréhension parallèle devient encore plus déconcertante lorsqu'elle touche à l'une de nos spécificités propres: le langage. En novembre dernier, une équipe de Google publiait en effet une étude sur un modèle de traduction automatique capable de traduire correctement une paire de langues pour laquelle il n'avait reçu aucun apprentissage... Entraîné à passer du portugais à l'anglais et de l'anglais à l'espagnol, il s'est avéré capable de traduire correctement du portugais en espagnol sans passer par l'anglais! Comment est-ce possible?

Les scientifiques pensent avoir repéré, au cœur de l'algorithme, la for-

mation spontanée et implicite d'une forme d'interlangue, une sorte d'espéranto. "C'est fascinant, ce modèle semble avoir compris quelque chose de très profond sur la structure du langage!" s'enthousiasme Vincent Vanhoucke.

Mais, encore une fois, ce quelque chose paraît insaisissable, relève François Yvon, chercheur au laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur: "Pour arriver à ce résultat remarquable, il faut adopter une représentation unifiée de toutes les langues sous la forme de très courts segments, souvent des fragments de mots. Les régularités statistiques repérées par cet algorithme seront donc très difficiles à interpréter sur le plan linguistique, même s'il y a peut-être des éléments d'alternance consonnes-voyelles ou de structure syllabique..."

Ces algorithmes semblent capables, plus que tout humain, d'explorer des solutions a priori insensées. A l'image du jeu de go. "Lors de ses parties contre les champions humains, AlphaGo a généré plusieurs coups très inattendus, jamais envisagés dans les innombrables livres consacrés à ce jeu, dont une ouverture totalement inédite ressemblant à une

grossière erreur de débutant et qui s'est avérée pertinente à terme, analyse Mathieu Lagrange, de l'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes. *On peut dire que cette machine a redéfini le jeu de go.*" A preuve: les grands maîtres du jeu s'inspirent désormais largement des stratégies d'AlphaGo.

"Souvent, la nouvelle solution est là, disponible, mais elle est noyée dans les données, ou elle est trop subtile", indique Vincent Vanhoucke. "Le cerveau humain est extrêmement conditionné, soulève Grégoire Montavon, chercheur à l'université de Berlin. *Les réseaux artificiels ont la capacité de trouver des solutions différentes mais tout aussi correctes*".

Ne nous trompons pas: ces robots sont loin d'être des super-intelligences. Ils n'ont, par exemple, aucune compréhension du contexte d'une situation sociale qui leur ferait ressentir les sarcasmes ou les métaphores; ils sont dépourvus du bon sens le plus élémentaire qui nous permet d'estimer qu'une girafe posée sur l'aile d'un Boeing 747 n'est pas une situation tout à fait normale...

Il n'empêche! Ces algorithmes font exister une autre forme de pensée, différente de la nôtre, avec ses abstractions venues d'ailleurs, ses visions du monde furieusement statistiques. Une autre forme d'intelligence avec laquelle il va falloir apprendre à vivre...

# ALGORITHMES : UN POUVOIR INQUIÉTANT ?

*Les réseaux de neurones profonds débarquent de plus en plus dans notre vie quotidienne. Mais confrontés à des situations critiques, sauront-ils prendre les bonnes décisions ? Rien n'est moins sûr...*

*“Nous ne voulons pas seulement des machines intelligentes, mais des machines intelligibles !”* Ce cri du cœur, lancé en juin 2016 par le PDG de Microsoft en personne, Satya Nadella, est devenu le slogan d'une large partie de la communauté informatique. Et même une sévère exigence, à l'heure où les réseaux de neurones profonds commencent à s'inviter dans des domaines critiques comme la santé, la justice, la banque, les transports ou les opérations militaires (voir ci-contre).

Car on peut d'ores et déjà imaginer le malaise de ceux qui seront confrontés aux décisions prises par ces intelligences artificielles : pourquoi diable ce robot me refuse-t-il un prêt bancaire ? Quels critères précis l'autorisent à juger cet homme coupable d'homicide ? Sur quels signaux s'appuie cette machine pour m'annoncer un cancer incurable, une schizophrénie galopante ou au contraire me déclarer en parfaite santé ? Quelle défaillance a pu pousser cette voiture autonome à foncer soudain dans un platane ? Comment cet algorithme a-t-il pu conseiller à notre état-major de bombarder une école ?

Bref : peut-on faire confiance à de tels algorithmes ?

Impossible, pour le moment. La connaissance de cette nouvelle forme d'intelligence reste trop balbutiante. Leurs résultats bruts ont beau être

souvent impressionnants, nul ne sait ce qui se cache vraiment derrière les décisions prises par ces machines opaques, étranges et certainement pas exemptes de défauts... “La priorité est de rendre les résultats de l'intelligence artificielle compréhensibles et interprétables, sinon cette technologie pourrait connaître le sort des OGM ou des nanotechnologies”, pense Philippe Besse, du département Génie mathématique et modélisation à l'université de Toulouse.

## UN PEU COMME LE GENIE D'ALADIN

Les laboratoires de l'armée américaine viennent ainsi de lancer pas moins de treize projets de recherche sous la bannière “Intelligence artificielle explicative”. La nouvelle réglementation européenne sur la protection des données prévoit même un droit à l'explication des décisions automatiques applicable dès mai 2018...

Sauf que, pour l'instant, même les meilleurs informaticiens de la planète sont incapables de justifier quoi que ce soit ! Les précieuses informations rapportées ces dernières années des profondeurs de ces algorithmes (voir pages précédentes) n'ont pu être extraites qu'au prix d'études fondamentales très laborieuses fondées sur quelques cas de laboratoire – souvent très visuels, donc plus facilement



### La santé

Google, IBM et d'innombrables start-up multiplient les partenariats avec les hôpitaux, sous le regard perplexe des autorités de santé. Leurs algorithmes promettent d'exceller dans la prescription de médicaments, les examens dermatologiques et ophthalmologiques, et la détection de cancers, y compris rarissimes.



### La justice

Aux Etats-Unis, les algorithmes assistent déjà massivement magistrats et avocats, par exemple pour analyser la jurisprudence. Un logiciel évaluant la recevabilité des plaintes a par ailleurs été proposé à la Cour européenne des droits de l'homme. Les tribunaux de Rennes et de Douai en testent un autre, susceptible de prédire l'issue d'une procédure.

**Ils sont déjà testés dans de nombreux secteurs sensibles**



### La banque

Dans la plupart des grandes banques, la décision d'accorder ou non un prêt est prise en grande partie par un algorithme. D'autres logiciels donnent des conseils de placements financiers. Par ailleurs, aux Etats-Unis, la moitié des échanges boursiers sont le fait de décisions automatisées.



### L'armée

Les militaires américains ont récemment constaté, au cours de combats aériens simulés, la supériorité des réseaux de neurones artificiels sur les meilleurs pilotes de chasse humains. Ces algorithmes se déplient déjà sur le terrain sous la forme de robots terrestres – qui auront probablement un jour le droit de tirer – et assistent les stratégies militaires.



### Les transports

Presque tous les constructeurs et équipementiers automobiles mondiaux ont des programmes de voitures autonomes – Renault prépare un modèle pour 2020. La France a même autorisé leur expérimentation sur la voie publique l'été dernier. Une révolution qui touche aussi les avions de ligne, les trains et les navires marchands...

interprétables. Un travail d'investigation inenvisageable à grande échelle pour justifier chaque décision automatisée. Dans les faits, les chercheurs se trouvent confrontés à des algorithmes dont les millions de paramètres s'ajustent d'eux-mêmes, comme autant de dimensions d'un paysage proprement incompréhensible pour un être humain tout juste capable de se représenter une forme en 3D. *“Ces très grandes dimensions posent des problèmes considérables en physique ou en mathématiques. On comprend très mal ce qui se passe dans ces systèmes”*, reconnaît Stéphane Mallat, mathématicien à l'Ecole normale supérieure. Une opacité presque insoutenable quand il s'agit d'expliquer les raisons d'un échec, à l'image des premiers accidents des voitures autonomes Tesla (voir p. 61).

Ces systèmes sont un peu comme le Génie de la lampe du conte Aladin, dont on ne sait pas vraiment comment il parvient à réaliser notre souhait. *“Les réseaux de neurones profonds reposent sur du savoir empirique et la théorie a du retard,* admet Léon Bottou, chez Facebook. *Mais rappelez-vous que les principes de la thermodynamique ont été posés plus d'une décennie après l'invention de la machine à vapeur.”*

En attendant, tout incite à la méfiance... Et pas du tout pour les raisons avancées par certains gourous de la Silicon Valley qui font planer le spectre d'une super-intelligence (ce qu'ils appellent la “singularité technologique”), laquelle formerait le projet de nous éliminer.

Disons-le tout net: cette perspective reste pure science-fiction. Les réseaux de neurones profonds sont tout à fait incapables de s'inventer un objectif autre que celui fixé par →



## Des dérapages qui sèment le doute

Tributaires de la qualité des données d'apprentissage, les algorithmes montrent parfois une bêtise exemplaire... La preuve par trois.

→ l'homme. "Les prévisions sur la singularité technologique n'ont pas de base scientifique, appuie Laurence Devillers, informaticienne membre de la Commission de réflexion sur l'éthique de la recherche en sciences et technologies du numérique. Le danger serait plutôt l'utilisation à mauvais escient de la machine par l'homme, et notamment les risques de piratage" (lire l'encadré p. 62).

Les scientifiques se méfient surtout de la nature brutalement statistique de ces nouvelles intelligences. A commencer par leur tendance à reproduire systématiquement tous

### Celui qui devient nazi

Le 23 mars 2016, Microsoft met en ligne le robot conversationnel **Tay**, doté de grandes capacités d'apprentissage et d'interaction. Des internautes en profitent pour lui inculquer toute la panoplie de la violence verbale. Dépourvu du moindre sens critique, Tay multiplie les propos injurieux, racistes, sexistes, conspirationnistes, négationnistes, pronazis, pro-inceste... Au bout d'une journée, Tay est débranché.

les travers humains que comportent, de manière plus ou moins implicite, les bases de données servant à leur apprentissage. Préjugés, stéréotypes, discriminations... On ne compte plus les exemples de prototypes de logiciels de reconnaissance faciale qui ignorent les visages autres que ceux des Caucasiens (correspondant sans doute au profil des chercheurs). En avril, une étude publiée dans *Science* révélait qu'un système entraîné à l'analyse de textes associait fortement les femmes au champ lexical de la famille... et les hommes à celui du monde du travail. "Déetecter et corriger ces biais est devenu un sujet de recherche à part entière", soutient Thomas Dietterich, l'un des pionniers de l'apprentissage automatique à l'université de l'Oregon.

Ces machines sont hypersensibles aux moindres corrélations statistiques, et pas forcément les plus pertinentes. Dans les conférences sur l'intelligence artificielle, les chercheurs racontent que, dans les années 1990, l'armée américaine avait mis au point un système de détection de chars ennemis

### Celui qui annonce à tort une pandémie

En février 2013, **Google Flu** annonce, aux Etats-Unis, un pic épidémique de grippe 50 % supérieur à la réalité! Une grossière erreur parmi d'autres de cet algorithme qui s'appuie sur les fluctuations des requêtes Google censées avoir un lien avec la vague épidémique... mais qui enregistre aussi de nombreux signaux fortuits. Le programme est abandonné en septembre 2015.

qui, au lieu de discerner les tanks, avait tendance à... scruter la couleur du ciel. C'est que les prises de vues d'entraînement comprenaient un char avaient été photographiées un jour de grand beau temps, et les exemples sans char sous un ciel gris.

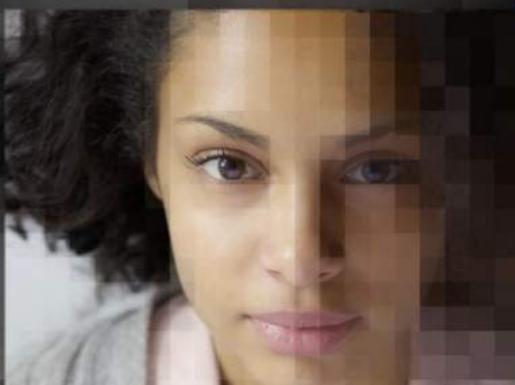
### IL Y A FORCÉMENT DES ERREURS

"Les algorithmes ont tendance à aller au plus simple, au plus expédient, ils minimisent leur effort quitte à se concentrer sur un artefact", éclaire Grégoire Montavon, à l'université technique de Berlin. Ce qui pourrait conduire à des erreurs plus qu'embarrassantes, nous confie Rich Caruana, chez Microsoft: "Il se trouve que notre réseau de neurones conçu pour évaluer la probabilité de décès

**RICH CARUANA**

Chercheur expert en réseaux de neurones chez Microsoft

*L'opacité de ces réseaux cache beaucoup de comportements étranges, voire dangereux*



## Celui qui fonce dans le mur

Le 7 mai 2016, en Floride, une voiture **Tesla** en pilotage autonome percute un camion, tuant son "conducteur-passager". A priori, la caméra embarquée n'a pas su détecter un camion blanc dans des conditions lumineuses intenses. Mais pour l'agence de sécurité routière américaine, ce type de véhicule semi-autonome n'est pas conçu en l'état pour être fiable dans tous les modes de collision, et exige une attention complète du conducteur.

*de patients atteints d'une pneumonie nous a suggéré un faible risque pour les asthmatiques... alors que c'est le contraire ! Après investigation, il semble que la machine ait mal interprété, dans le jeu de données, la moindre probabilité de décès des asthmatiques liée simplement au fait que ces patients sont pris en charge à l'hôpital très tôt et traités plus intensément que le reste de la population."*

Dans ce cas, l'erreur était tellement flagrante que l'équipe médicale n'a eu aucune hésitation à ignorer l'avis de la machine. Mais le verdict d'une intelligence artificielle peut s'avérer beaucoup plus trompeur... Une équipe américaine a récemment décortiqué un réseau de neurones conçu pour répondre à des questions sur des images qui lui sont fournies, du type "Y a-t-il une horloge sur la photo ?". Les chercheurs ont découvert que cet algorithme répondait parfois correctement avant même que la question ne soit achevée et sans même analyser la photographie en question ! "La machine avait semble-t-il perçu statistiquement notre tendance à poser des questions sur des

*objets présents effectivement sur la photo – on parle de biais d'amorçage visuel, analyse Abhishek Das, docteur à Georgia Tech (Etats-Unis). Du coup, elle répondait par l'affirmative avec assurance, et une certaine performance, sans avoir rien appris ni compris."*

**LAURENCE DEVILLERS**

Membre de la commission de réflexion sur l'éthique de la recherche dans ce sujet

*Gare à ne pas propager de la bêtise artificielle : les humains ne devront rien désapprendre*

*"Ces réseaux de neurones peuvent tout à fait capter une régularité fortuite, qui leur permet ensuite de répondre correctement à la question posée juste par coïncidence", confirme Mathieu Lagrange, de l'Institut de*

recherche en communications et cybernétique de Nantes :

*"Nos recherches sur la classification musicale montrent aussi à quel point il est facile pour des chercheurs d'être dupés par ces machines, renchérit Bob Sturm, chercheur à l'université de Londres. Nous employons entre nous la métaphore d'Hans le Malin, du nom de ce cheval devenu célèbre au début du XX<sup>e</sup> siècle en Allemagne car il semblait savoir calculer et lire [en tapant du sabot]. C'est seulement après une expérience correctement contrôlée que les scientifiques se sont aperçus que le cheval avait simplement appris pendant des années à réagir aux signaux corporels – inconscients – de son éleveur pendant l'interrogatoire."*

Ce genre de syndrome devient particulièrement dangereux dans certains secteurs d'activité. *"Si le personnel médical est historiquement très attentif aux problèmes liés à l'opacité, qu'en sera-t-il des policiers ou des juges par exemple, face aux décisions de la machine qui risquent, à terme, de s'imposer avec l'autorité d'une empreinte ADN?"* s'interroge Daniel Le Métayer, à l'Institut national →

→ de recherche en informatique et en automatique.

*“L'opacité de ces réseaux cache beaucoup de comportements étranges, délétères et possiblement dangereux ! s'emporte encore Rich Caruana. Il n'y a rien de pire qu'un problème caché... Nous devons nous montrer très prudents face à une technologie aussi nouvelle et puissante.”*

*“La société tolère que les humains prennent des décisions à risque car nous avons une longue expérience des défaillances humaines, estime Thomas Dietterich. Nous avons construit nos infrastructures – autoroutes, lois... – en tenant compte de ces types d'erreurs. Ces systèmes ‘boîte noire’ pourraient commettre des erreurs très différentes des nôtres. Si elles sont trop évidentes, quand bien même ces algorithmes sont en moyenne plus précis, je ne suis pas sûr qu'ils seront acceptés par le public.”*

*“Il ne faut pas sous-estimer le risque de propager de la bêtise artificielle à grande échelle, ajoute Laurence Devillers. Nous, humains, ne devrons rien désapprendre : il ne faudra pas, par exemple, désapprendre à conduire, mais apprendre à conduire avec ces machines.”*

### UNE INTELLIGENCE À APPRIVOISER

Dès lors, comment construire une relation saine avec cette nouvelle forme d'intelligence, si insaisissable ? Voilà sans doute l'une des plus importantes questions sociétales des dix prochaines années. *“Sans protocole expérimental contrôlé, nous restons dans les ténèbres, lance Bob Sturm. Nos paradigmes expérimentaux actuels ne permettent pas de séparer les résultats réels et les équivalents d'Hans le Malin.”*

Tout reste à inventer dans cet univers qui n'a rien à voir avec celui des logiciels classiques, dont chaque ligne de code est écrite par un humain avant d'être vérifiée avec une rigueur digne d'une démonstration mathématique – du moins pour les applications à risque. *“Nous ne disposons pas encore*

## La nouvelle menace du piratage

C'est un sujet ultrasensible, qui n'a jamais encore été abordé publiquement par Google, Facebook, Uber... Plusieurs études récentes ont montré l'incroyable vulnérabilité des modèles de vision artificielle à de savantes et minuscules perturbations – imperceptibles pour un humain – qu'un hacker pourrait introduire dans les images à traiter : face à une photo de lion subtilement modifiée, l'algorithme en vient à détecter, avec une grande confiance, une bibliothèque ou un panda ! *“Sur le principe, un attaquant pourrait très bien coller sur un panneau ‘stop’ une image de ce panneau légèrement modifiée qui changerait totalement la décision d'une voiture autonome, alerte Nicolas Papernot, à l'université de Pennsylvanie. Beaucoup de laboratoires cherchent désormais à rendre ces systèmes plus robustes, et certains résultats préliminaires sont encourageants. Mais, comme pour la cybersécurité classique, les attaquants semblent avoir l'avantage.”* Un nouveau péril auquel personne ne s'attendait vraiment.

*de méthode permettant de certifier, en toutes circonstances, les performances des réseaux de neurones utilisés par exemple dans une voiture autonome, observe Martial Hebert, directeur de l'Institut de robotique de l'université Carnegie-Mellon (Etats-Unis). C'est un domaine ouvert, qui ne manquera pas d'attirer de nombreux jeunes talents, je l'espère.”*

Certains chercheurs prônent la mise en place d'une éthologie des robots : *“Nous sommes en train de développer des expériences sur leur comportement inspirées de la psychologie humaine – notre cerveau étant lui aussi une boîte noire”, explique ainsi Walter Scheirer, à l'université de Notre-Dame (Etats-Unis).*

Plusieurs équipes placent également sur les moyens de rendre les réseaux de neurones plus lisibles, à défaut d'être parfaitement transparents. L'idée : leur imposer de justifier, par le texte ou l'image, chaque étape qui leur a permis d'aboutir au résultat affiché ; typiquement, “je dis que cet homme est en train de jongler, parce qu'il porte deux balles dans les mains et que deux autres balles sont en l'air”. *“Cela permettrait de constater que leur décision n'est pas arbitraire, comme lorsqu'un professeur demande à son élève d'expliquer son raisonnement, approuve*

*Yann Ollivier, au Laboratoire de recherche en informatique de l'université Paris-Sud. Avec le risque tout de même que l'explication soit produite a posteriori, comme peuvent le faire les élèves juste pour plaire au professeur.”*

La difficulté est, de fait, loin d'être négligeable : *“Quand un humain donne des explications sur son raisonnement, elles sont souvent fausses, relève Rich Caruana. Mais, au moins, nous pouvons interagir dans un dialogue complexe qui permet d'éclaircir les points obscurs, ce que ne peuvent pas encore accomplir ces machines.”*

Apprivoiser cette nouvelle intelligence. Coopérer avec elle. La comprendre. La respecter. Savoir lui faire confiance. S'en méfier, parfois. Quitte à faire évoluer radicalement la nôtre, d'intelligence.

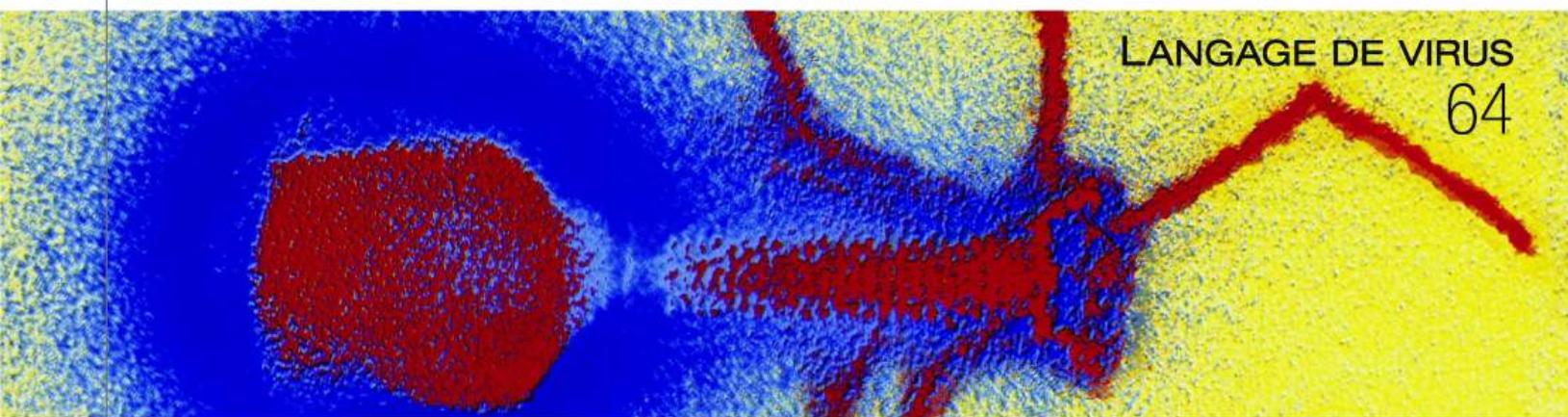


A consulter : les publications scientifiques qui ont alimenté ce dossier.

A voir : une conférence de Yann LeCun au Collège de France ; une vidéo illustrant comment une voiture autonome perçoit le monde.

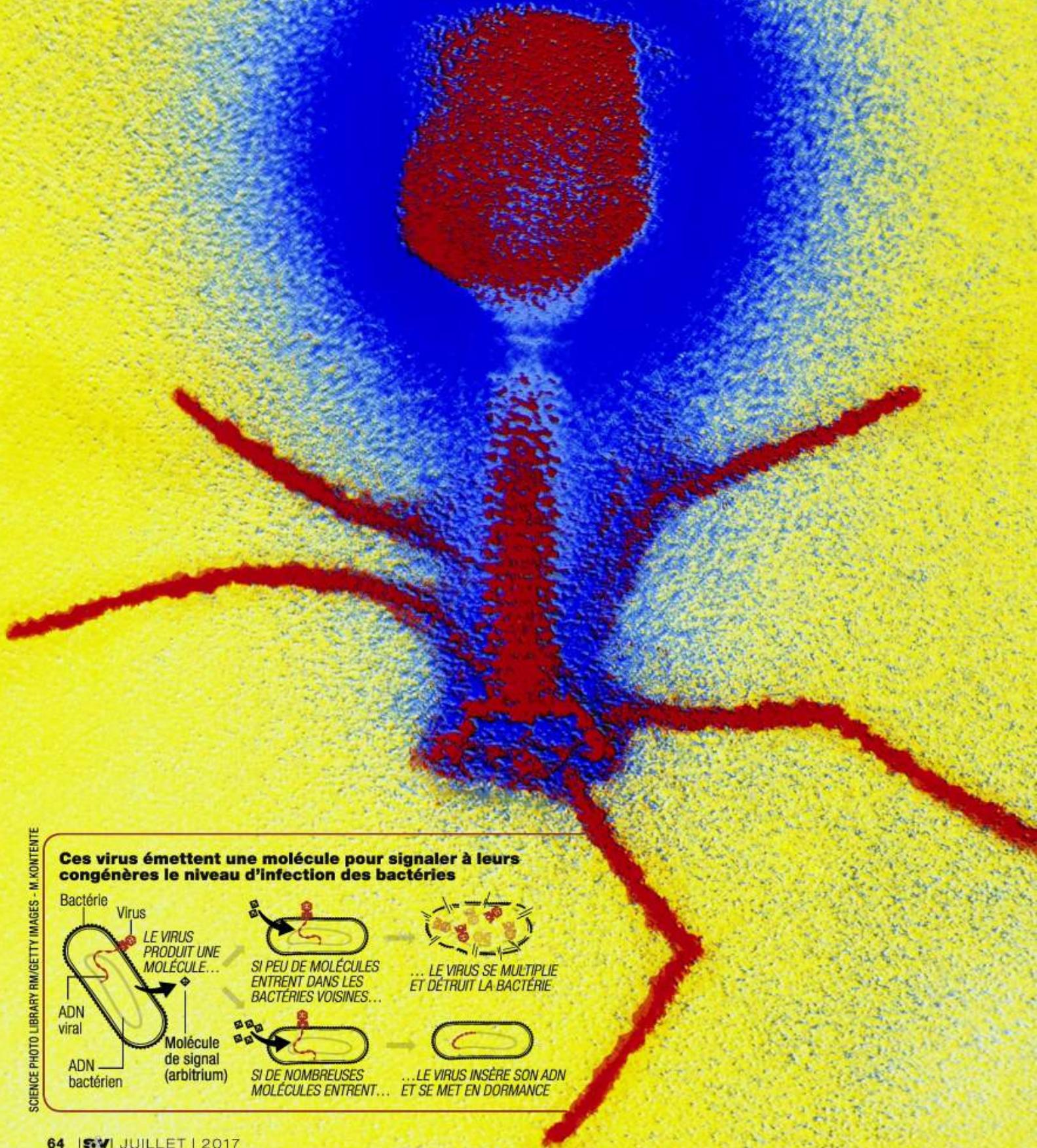
A lire : le roman *Rêves de machines*, de Louisa Hall (éd. Gallimard).

# & Science découvertes

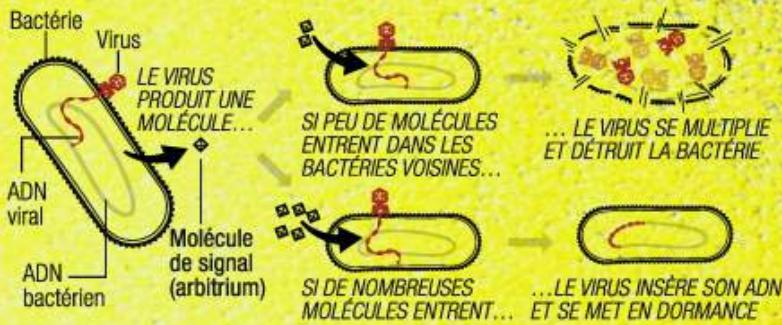


## ✓ DES CHASSEURS DE BACTÉRIES

Les virus bactériophages comme ce T4 infectent les bactéries en insérant leur matériel génétique dans l'ADN de leur proie.



Ces virus émettent une molécule pour signaler à leurs congénères le niveau d'infection des bactéries



# Bactériophages

# Des virus doués de parole

Incroyables virus ! Pour parvenir à leurs fins, ils communiquent entre eux, via un langage moléculaire. Des échanges secrets que **Lionel Cavicchioli** a scrutés.

**C**e n'est pas tous les jours que l'on identifie par hasard un nouveau langage. Encore moins entre des entités qui ne sont pas censées savoir communiquer ! C'est ce qui est arrivé à Zohar Erev et ses collaborateurs de l'Institut des sciences Weizmann, à Rehovot en Israël. Ils ont constaté que certains virus sont capables de se parler. “*Nous ne nous y attendions pas, cette découverte a été une véritable surprise*”, reconnaît Rotem Sorek, qui a dirigé ces travaux.

Les virus en question sont spécialisés dans l'infection des

bactéries (d'où leur nom, “bactériophages” ou “phages”, voir Repères). Lorsque l'un d'eux rencontre une bactérie à son goût, il l'infecte en lui injectant son matériel génétique, la forçant à produire des dizaines de copies de lui-même. Lesquelles finissent par s'échapper en détruisant la cellule bactérienne, pour aller infecter ses voisines. “*Nous voulions étudier si les bactéries se prévenaient les unes les autres lorsqu'elles étaient attaquées par des bactériophages. Au lieu de cela, nous avons découvert que c'était les phages qui communiquaient entre eux !*”, s'étonne encore le chercheur.

En essayant de vérifier si les bactéries infectées diffusaient des “SOS moléculaires” pour prévenir leurs voisines du danger, les chercheurs israéliens ont en effet trouvé un composé fabriqué grâce au matériel génétique des phages, et destiné à leurs congénères.

## Repères

Les virus bactériophages (ou phages), littéralement “mangeurs de bactéries”, ont été décrits pour la première fois au début du XX<sup>e</sup> siècle. Ce sont les organismes les plus nombreux de notre planète. Des océans aux déserts, en passant par le corps humain, ils vivent partout où l'on trouve des bactéries, et jouent un rôle essentiel dans leur régulation.

“*C'est la première fois qu'une molécule permettant à des virus de communiquer entre eux est découverte*”, s'enthousiasme Rotem Sorek.

Baptisée “arbitrium”, cette molécule incite les phages à ne pas opter pour la stratégie de l'infection, mais à s'intégrer dans le génome bactérien et à s'y cacher en restant silencieux, comme endormis.

## LA RUSE DU SOMMEIL

Le système est simple et élégant. En temps normal, un gène (*aimX*) empêche le phage d'entrer en dormance quand il infecte une bactérie. Alors que ce phage force la bactérie à produire des copies de lui-même, il l'oblige aussi à fabriquer de l'arbitrium. Libéré dans l'environnement, celui-ci est ingéré par les cellules saines alentour – il ressemble beaucoup aux molécules utilisées par les bactéries pour communiquer entre elles. Après plusieurs cycles d'infection, la quantité d'arbitrium présent dans les bactéries indemnes augmente donc fortement. Or, à partir d'une certaine concentration, cet arbitrium empêche l'activation du gène *aimX*, ce qui pousse le phage à s'endormir.



→ C'est donc bien de l'information qui circule entre les virus : le système permet aux phages de savoir où en est l'infection, de connaître l'état de leur stock de nourriture, et d'éviter qu'elle ne s'épuise, comme des chasseurs gérant une population de gibier.

Au début d'une infection, le nombre de proies est largement suffisant pour les virus et la quantité d'arbitrium

*"Les biologistes ont toujours eu tendance à sous-estimer l'importance des virus. Ce très bon travail illustre une fois de plus à quel point ils peuvent être 'astucieux'", souligne Patrick Forterre, chef d'unité et professeur à l'Institut Pasteur.*

Les chercheurs ont identifié des mécanismes similaires chez plus d'une centaine de types de phages différents. Ils

beaucoup celui des bactéries. Elles montrent que les phages peuvent être très sophistiqués, et posent de nombreuses questions : des phages de différentes familles peuvent-ils communiquer entre eux ? Sont-ils capables de perturber les communications de leurs concurrents ? Et du côté des bactéries, existe-t-il des systèmes de défense capables de brouiller les communications des agresseurs ?"

### PISTES THÉRAPEUTIQUES

Une prochaine étape importante sera notamment de déterminer si ce genre de mécanisme existe chez d'autres virus, notamment ceux qui infectent les animaux et l'homme. Il n'est pas irréaliste de l'envisager, car certains virus, comme celui de l'herpès ou de la mononucléose, utilisent également une stratégie à deux faces, multiplication et dormance. "Il est tout à fait possible que d'autres virus utilisent une stratégie identique à celle des phages pour coordonner leurs attaques, confirme Rotem Sorek. On peut même imaginer que certains virus sont capables de perturber les communications des cellules." Si une telle communication était identifiée chez des virus responsables des maladies, l'interception et la perturbation de ces conversations pourrait même ouvrir de nouvelles pistes thérapeutiques (lire encadré ci-dessus).

*Do you speak virus ?*



EN  
SAVOIR  
PLUS

A lire : les comptes rendus des recherches mentionnées dans l'article.

science-et-vie.com

## Et si on brouillait les communications virales ?

**Empêcher les virus dangereux de coordonner leurs attaques en perturbant leurs conversations... Si l'idée reste encore très spéculative, la stratégie semble viable, au moins chez les bactéries. L'an dernier, des biologistes canadiens ont ainsi rendu inoffensives des bactéries *Pseudomonas aeruginosa* en les empêchant de s'échanger des informations grâce à des molécules isolées... de la canneberge ! D'autres travaux ont montré que certaines enzymes, en dégradant les messages chimiques des bactéries pathogènes pour leurs congénères, les affaiblissent. Ces composés pourraient être utilisés pour fabriquer des médicaments qui compléteraient ou remplaceraient les antibiotiques. Reste maintenant à les mettre au point... En attendant, peut-être, de s'attaquer aux communications entre virus.**

produite est faible : les phages vont se multiplier. À mesure que l'infection progresse, les proies se font plus rares et la quantité d'arbitrium augmente fortement. Les nouvelles générations de phages, sous l'effet de l'arbitrium, vont donc plutôt choisir de se cacher dans le génome des bactéries, qui continueront à croître et se multiplier, reconstituant le garde-manger. Quand les bactéries seront redevenues beaucoup plus nombreuses et que la concentration en arbitrium aura diminué, le cycle recommencera.

ont aussi découvert que chacun parle sa propre "langue" : il existe en effet une grande variété de molécules d'arbitrium, ce qui permet aux phages de la même famille de mener une conversation sans être perturbés par celles de leurs voisins.

Des recherches qui impressionnent Peter Fineran, microbiologiste à l'université d'Otago à Dunedin, en Nouvelle-Zélande, spécialiste des bactériophages : "Toutes ces découvertes révèlent un système de communication élaboré, qui rappelle d'ailleurs

Plus tôt, plus vite, plus loin...

# Homo, un éternel voyageur

Selon de récentes découvertes, l'homme serait très tôt parti à la conquête du monde. **Thomas Cavaillé-Fol** retrace la genèse de cette autre histoire des origines.

**C**ombien de découvertes faut-il pour faire trembler un consensus ? A quel moment des recherches auparavant jugées fantasques prennent, une fois analysées de concert, une dimension qui ne peut plus être ignorée ? La question est sans doute encore plus sensible en préhistoire, où tous les protagonistes ont disparu depuis plusieurs millions d'années, et où les seuls indices

sont de rares fossiles, des traces sur des os d'animaux ou des cassures sur les pierres. "Plus que les études, ce sont les acteurs du domaine qui rendent ces tournants possibles, en changeant de point de vue", répond le paléoanthropologue Yves Coppens, professeur au Collège de France.

Aujourd'hui, c'est l'histoire des grandes migrations de la famille humaine qui tremble, les fameuses "Out of Africa" qui ont permis à notre genre d'envahir la Terre. Eh bien, ces sorties d'Afrique ne se seraient pas passées comme admis. Elles auraient eu lieu... près de 1 million d'années plus tôt ! "Dès qu'il est devenu homme, c'est-à-dire dès que le genre Homo est apparu, l'humain s'est répandu sur la planète", résume Yves Coppens.

Jusqu'à récemment, ces migrations faisaient pourtant l'objet d'un consensus. Vous vous en souvenez sûrement : cette théorie figure encore dans tous les livres de SVT du secondaire.

## L'ÉDEN ORIGINEL

Selon cette doxa, les premiers représentants du genre *Homo*, nés en Afrique de l'Est il y a un peu plus de 2,5 millions d'années et baptisés *Homo habilis*, sont censés ne jamais avoir quitté cet Eden originel – des fossiles avaient été retrouvés au Kenya, en Ethiopie ou encore en Tanzanie, mais pas plus loin. Et c'est une autre espèce humaine, plus grande, plus robuste et au cerveau plus évolué, *Homo erectus*, qui est supposée s'être aventurée pour la première

### Contexte

Jusqu'ici, les plus anciens restes humains hors Afrique, attribués à *Homo erectus*, avaient été découverts en Géorgie (un crâne daté de 1,8 million d'années) et en Asie (présence humaine attestée à partir de 1,7 Ma). Il était alors estimé que c'était une forme ancestrale d'*Homo erectus* qui avait réalisé la première migration "Out of Africa", il y a 2 Ma. Mais de nouvelles recherches viennent bousculer ce modèle très ancré.



fois hors d'Afrique, il y a près de 2 millions d'années.

Mais la question est aujourd'hui dans la tête de tous les experts : et si *Erectus* n'avait fait que suivre la voie tracée par d'autres avant lui ?

Car voilà que des découvertes bousculent l'ordre établi. Il y a les traces de découpe sur des os de stégodon (un cousin ancestral de l'éléphant) retrouvés à Masol, au pied de l'Himalaya, et qui auraient l'âge des fossiles, soit un peu plus de 2,6 millions d'années. Il y a aussi le site de Longgupo, en Chine, qu'une toute nouvelle datation estime à 2,48 millions d'années, et qui semble contenir des dents et un bout de mâchoire appartenant à des humains ancestraux, ainsi que des outils. Et il y a l'homme de Flores, l'espèce naine qui vivait sur l'île du même nom en Indonésie jusqu'à 50 000 ans avant notre ère : des paléoanthropologues australiens affirment aujourd'hui qu'elle serait anatomiquement plus proche d'un *Homo habilis* que d'un *Erectus*.

Alors se font entendre les premières voix et les premières interprétations. "Une espèce sœur d'*Homo habilis*, voire plus ancestrale encore,

## Les 3 découvertes qui écrivent une nouvelle histoire des migrations

*Homo erectus*, premier humain à avoir posé un pied hors d'Afrique il y a 2 millions d'années ? Pas si sûr. Selon de nouveaux indices, une espèce plus primitive aurait quitté le continent 1 million d'années plus tôt.



### Des traces de découpe

Intentionnelles et associées à des outils, elles attestent une présence humaine au pied de l'Himalaya, il y a 2,6 millions d'années.

a également effectué une migration, inconnue jusqu'à aujourd'hui, pour rejoindre l'Indonésie", affirme l'anthropologue Debbie Argue, de l'université de Canberra, en Australie. Plusieurs sites comportant les fossiles de ces voyageurs existent donc potentiellement sur cette route".

Une affirmation osée qui ne surprend pourtant pas la paléoanthropologue Anne

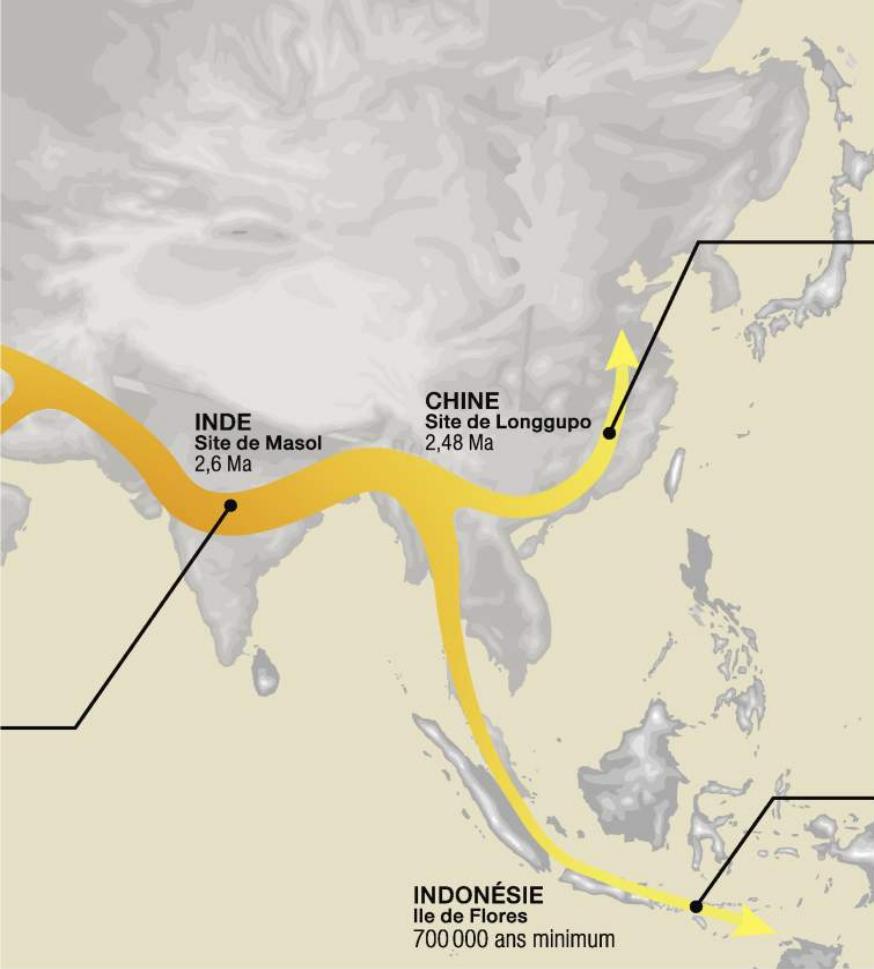


Dambricourt-Malassé, du Muséum d'histoire naturelle, à l'origine des découvertes de Masol. "Nous avons pris toutes les précautions nécessaires", assure-t-elle. Les traces de découpe retrouvées ont été réalisées sur des os frais, elles sont quasiment parallèles, précises, au niveau où s'attache le tendon. Cela montre une intention, que l'on ne prête aujourd'hui qu'à la famille humaine, étendue aux australopithèques. De plus, nous avons mis au jour, sur ce même site, des galets de quartzite travaillés ayant pu servir à cette découpe, dont un encore pris dans les mêmes couches de sédiments que les fossiles. Cette découverte est majeure : nous sommes aujourd'hui convaincus que des humains ancestraux vivaient bien en Asie, plus de 2,6 millions d'années avant notre ère."

Selon cette nouvelle histoire, l'humain, à peine né,

## L'Amérique découverte bien avant Sapiens

Les *Homo* ancestraux se seraient aventurés plus tôt, mais aussi plus loin que prévu ! En Californie ont été découverts des os de mammouth portant des traces de percussion qui, selon une récente étude, ne peuvent être que d'origine humaine. Et, stupeur, ils seraient âgés de 130 000 ans ! "A cette époque, *Homo sapiens* n'est pas censé avoir quitté l'Afrique, rappelle Thomas Deméré, paléoanthropologue au Muséum d'histoire naturelle de San Diego. Neandertal ou Denisova ont donc peut-être découvert l'Amérique 100 000 ans avant nous !" Certains ne sont pas étonnés. "De nombreux sites au Brésil, attestant d'une occupation humaine il y a 30 000 à 35 000 ans, ont été longtemps enterrés car ils remettaient en cause le dogme qui situait la colonisation de l'Amérique à 12 000 ans avant notre ère, commente le professeur Eric Boëda. Ils sont aujourd'hui bien acceptés : à côté de la découverte faite en Californie, ils sont jeunes et paraissent tout à fait plausibles !".



### Des outils

Trouvés avec des dents et un fragment de mâchoire d'origine indéterminée, ils ont été datés à 2,48 millions d'années.



### Une espèce relique

L'anatomie d'*Homo floresiensis* serait en fait plus proche des premières formes d'*Homo* africains que d'*Erectus*.

s'est lancé à l'assaut de la planète, sans même avoir le feu pour allié. L'exploration et les migrations seraient ainsi inhérentes au genre *Homo*, des plus ancestraux aux actuels.

#### À L'ASSAUT DE LA PLANÈTE

Ce qui paraît tout à fait plausible à Yves Coppens. «Le genre *Homo* a dû émerger en Afrique plus tôt que ce que l'on pensait, il y a au moins 3 millions d'années», commente-t-il. Et une fois devenu homme, il s'est dispersé tout de suite. Déjà, on observe une sortie des mammifères d'Afrique à cette époque, alors pourquoi l'humain n'aurait-il pas suivi? Cela cadre avec son régime, devenu plus carnivore, qui l'oblige à élargir son territoire de chasse. Et son adaptation réussie le force à se disperser en raison de sa démographie croissante – on sait que la vitesse de migration peut atteindre environ

50 km par génération. Et bien sûr, on peut aussi imaginer qu'en même temps que son cerveau, sa curiosité naturelle s'est également développée.»

«On s'attendait à ce que je me fasse un peu plus taper sur les doigts», s'amuse Anne Dambricourt-Malassé. Car il faudra tout de même un peu de temps pour que cette histoire soit intégrée dans les manuels scolaires. La communauté scientifique reste prudente. «Des revendications incroyables requièrent des preuves incroyables», rappelle Chris Stringer, directeur de recherche au Muséum d'histoire naturelle de Londres. «Les indices sont encore faibles en effet, acquiesce Antoine Balzeau, chercheur au CNRS et au Musée de l'homme. En revanche, il est certain que notre vision des migrations est aujourd'hui simpliste, la réalité est forcément bien plus complexe.»

Toujours est-il que chaque nouvelle recherche apporte de plus en plus de crédit aux autres. «Au début de l'étude du site de Longgupo, son caractère anthropique a été contesté sous prétexte que l'homme ne pouvait se trouver si loin en Asie à l'époque», se souvient Eric Boëda, professeur d'anthropologie à l'université Paris-Ouest-Nanterre. «On le regarde aujourd'hui différemment, la doxa tombe.» Anne Dambricourt-Malassé renchérit: «Certains sites d'Asie, jugés auparavant trop vieux pour contenir des fossiles humains, pourraient bien faire l'objet de futures recherches.»

Car on ne peut découvrir que ce que l'on considère comme envisageable. Maintenant que l'on admet qu'*Homo* a toujours été un grand voyageur, nul doute que les preuves de ses premières migrations vont se multiplier.



A lire : les différentes études citées dans l'article.  
**EN SAVOIR PLUS**



Division cellulaire

# Le moment clé révélé



C'est un processus indispensable à la vie : une cellule se divise, donnant naissance à deux cellules identiques. Munis d'outils de pointe, des biologistes ont scruté en détail l'ultime instant de la séparation. Et découvert les incroyables pouvoirs d'une petite structure qu'ils croyaient totalement inutile...

**Kheira Bettayeb** nous en dit plus.

#### Repères

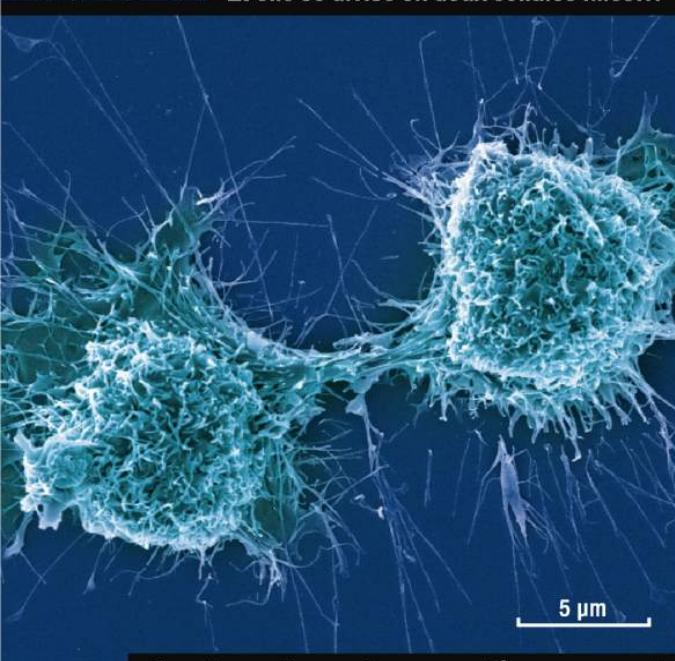
A la fin du xixe s., Walther Flemming observe l'ultime étape de la division cellulaire et note la formation d'un "corps central" sur le pont tenu qui relie encore les deux cellules. Pendant plus d'un siècle, les biologistes pensent que cette structure ne sert à rien. Mais depuis 2011, plusieurs études indiquent le contraire...



1. La cellule mère grossit et duplique son ADN



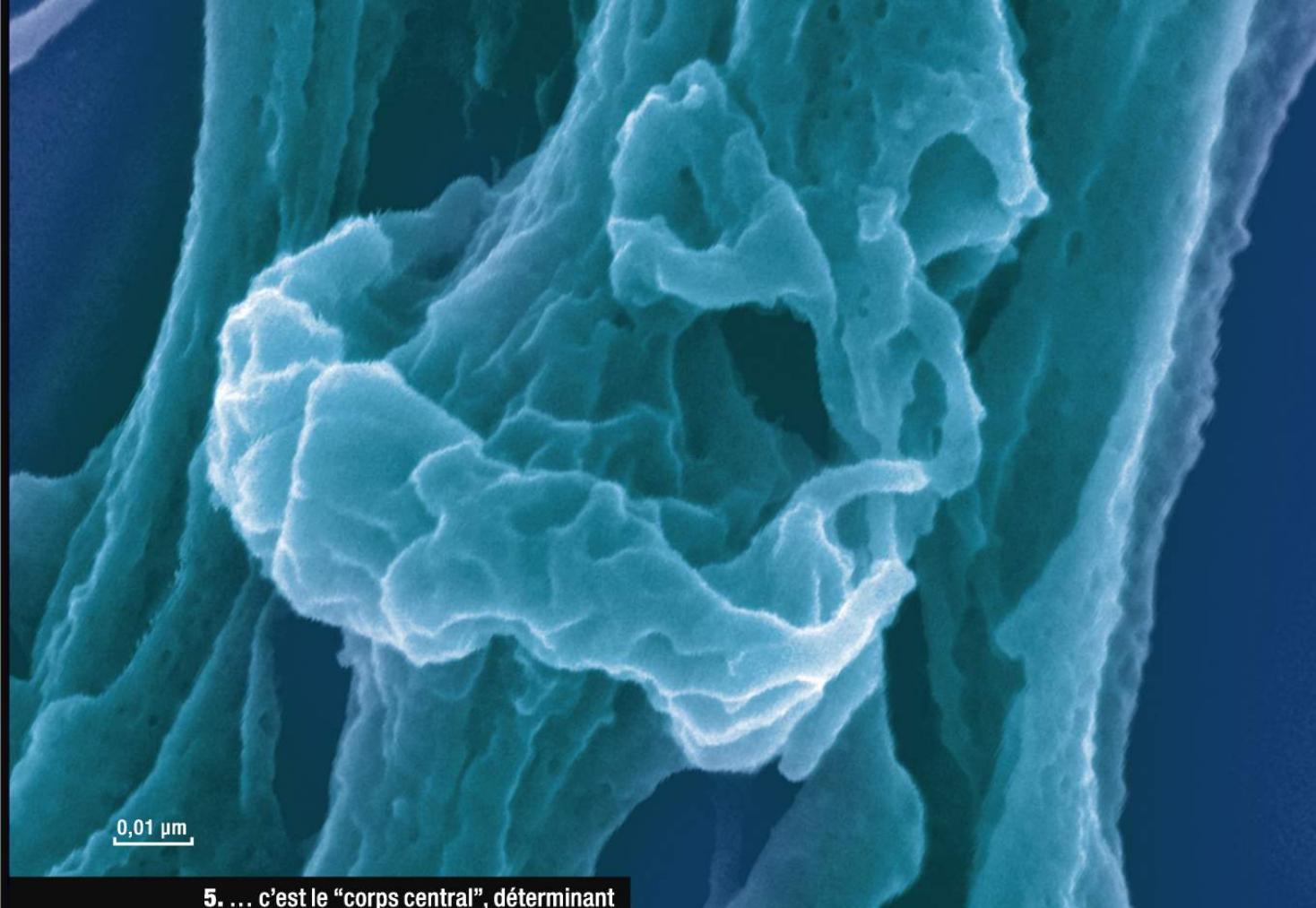
2. elle se divise en deux cellules filles...



3. ... lesquelles sont encore reliées par un pont

4. au milieu de ce pont se trouve une mystérieuse excroissance...





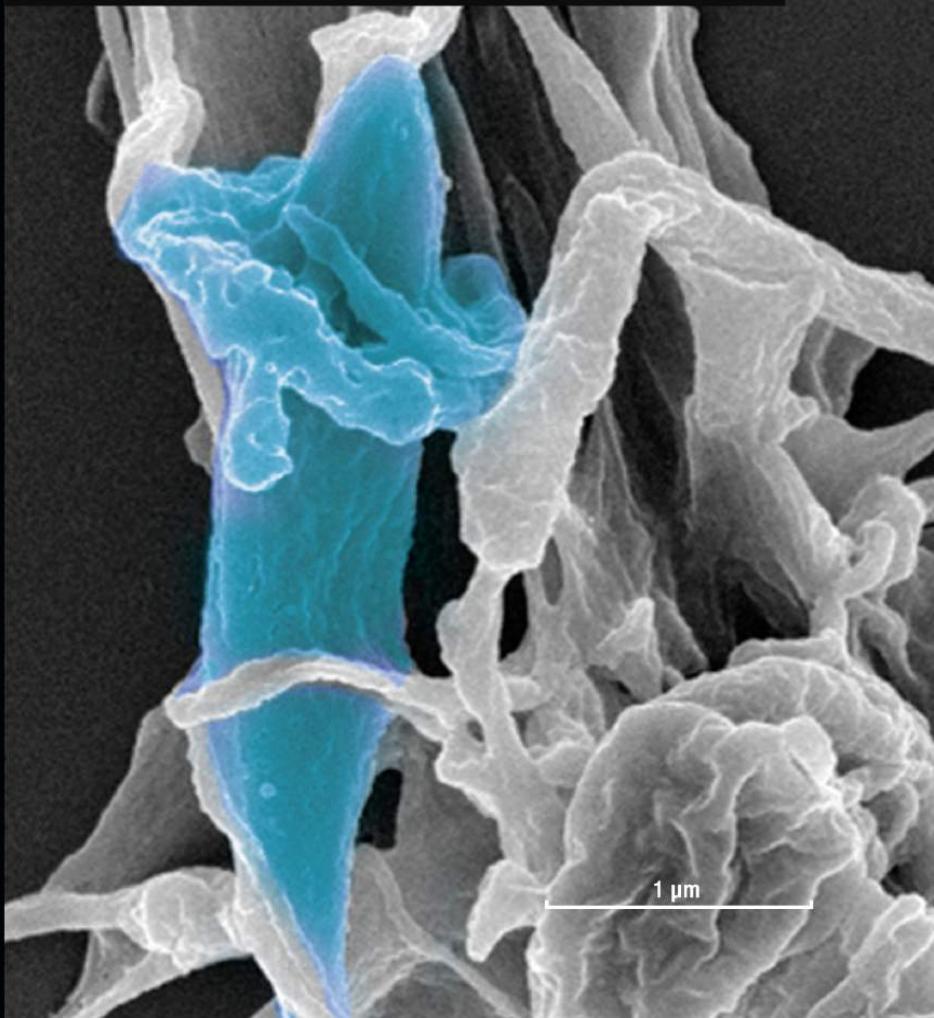
0,01 μm

5. ... c'est le "corps central", déterminant pour la destinée des futures cellules filles

6. en effet, seule la cellule qui en hérite va continuer de se diviser

## Le corps central, une structure au rôle décisif

Il était là, juste sous les yeux des biologistes... Le "corps central" (ou *midbody*) retient désormais toute leur attention. Cette structure se forme lors de l'ultime étape de la division cellulaire, la cytocinèse. La cellule mère s'est divisée en deux cellules filles, qui sont encore reliées l'une à l'autre par un pont ténu (voir photos 1 à 3). Au milieu de ce pont apparaît une minuscule structure sphérique : le fameux corps central (4 et 5). A la fin de la division, la cellule fille qui l'emporte avec elle (6) va continuer de proliférer, tandis que l'autre va se différencier en un type précis de cellule.

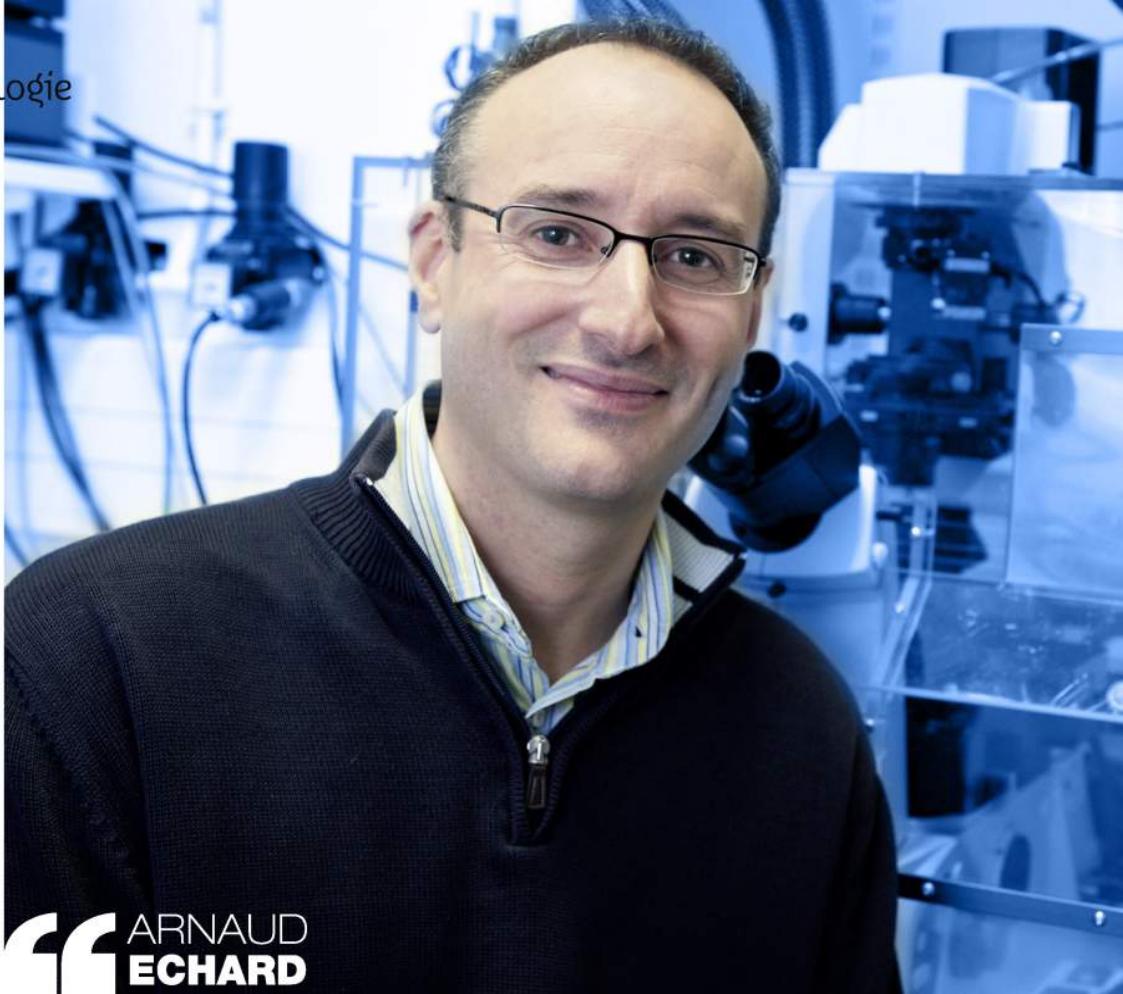


**S**ans elle, pas de croissance et pas de régénération possible de notre organisme. Elle? C'est la division cellulaire, ce processus biologique qui fait naître deux cellules filles à partir d'une cellule mère. Indissociable du bon déroulement de la vie, du stade de l'embryon au dernier instant, la division cellulaire garde une grande part de mystère. C'est particulièrement le cas de sa dernière étape, la cytocinèse, à la toute fin de la télophase (voir "Jargon"). Ce moment où les deux cellules filles ne sont plus reliées que par un pont si tenu qu'il annonce déjà la rupture inéluctable entre elles.

Depuis quelques années, les chercheurs comprennent que cette ultime étape de la division cellulaire est déterminante pour la destinée des futures cellules. Surtout, ils réalisent peu à peu qu'ils sont passés à côté de quelque chose d'essentiel: une minuscule structure sphérique qui était pourtant là, sous leurs yeux, au beau milieu du pont intercellulaire! Ce qu'ils prenaient pour une entité sans intérêt, un vulgaire déchet biologique détruit après la division, se révèle être une sorte de "sceptre" qui semble conférer un pouvoir de prolifération à la cellule qui en héritera.

Baptisée "corps central" (*midbody*, en anglais), cette structure, avec ce que l'on sait désormais de son fonctionnement, invite à réécrire non seulement le scénario de la séparation cellulaire, mais aussi celui de l'organisation même des cellules à l'intérieur de notre organisme.

*"Depuis quelques années, ces découvertes révolutionnent*



ARNAUD  
ECHARD

Directeur du laboratoire Trafic membranaire et division cellulaire, à Paris

*Le corps central pourrait même agir comme un "signal longue distance", et induire la division de cellules éloignées*

*complètement notre compréhension du processus induisant la séparation entre deux cellules, confirme Arnaud Echard, directeur du laboratoire Trafic membranaire et division cellulaire, à Paris (CNRS/Institut Pasteur). Pendant plus d'un siècle et demi, les biologistes n'ont eu pratiquement qu'une description morphologique, et non mécanistique, de ce phénomène."*

En effet, avant de pouvoir disséquer les mécanismes moléculaires à l'œuvre, il a fallu attendre l'invention de techniques de biologie moléculaire et cellulaire de pointe, permettant l'étude fine du

vivant: "microscopie d'illumination structurée", approche de "génétique inverse à grande échelle", "ARN interférents"...

De puissants outils qui, au cours de cette dernière décennie, ont permis d'explorer en détail la zone de séparation des cellules, et plus précisément ce qui se trame au milieu du pont intercellulaire...

#### LA "CLÉ" DE LA PROLIFÉRATION

Surprise: les études suggèrent que la curieuse petite structure sphérique qui s'y trouve, le fameux "corps central", joue un rôle décisif dans la prolifération ou la différenciation des futures cellules.

Les biologistes savent depuis longtemps que la division cellulaire est asymétrique : elle donne naissance à deux cellules génétiquement identiques, sauf que l'une va continuer à se diviser (et demeurer une cellule souche, ou progénitrice) alors que l'autre va se différencier (se transformant selon les cas en neurone, en cellule musculaire...).

Oui, mais jusqu'ici, les rouages de cette asymétrie leur échappaient. Or, entre 2011 et 2016, plusieurs travaux, réalisés sur des cellules animales et humaines, ont indiqué que la cellule fille qui garde avec elle le corps central voit sa prolifération favorisée, tandis que l'autre cellule, qui n'en hérite pas, a tendance à se diriger vers la différenciation.

De plus, une étude publiée en juillet 2016 par l'équipe espagnole de Miguel Alonso a montré que ce corps central pourrait également induire la formation des "cils primaires", des espèces de capteurs à la surface des cellules qui reçoivent les signaux chimiques venus de l'extérieur pour orienter la prolifération, la différenciation ou la migration des cellules.

Cette structure, qui n'a décidément rien d'un déchet biologique inutile, réguleraient en outre un processus fondamental pour le développement des embryons : la formation de "l'axe dorso-ventral". Lequel permet aux organes de se former à la bonne place et selon la bonne orientation entre le dos et le ventre. En effet, chez la mouche drosophile, il a été observé que la position du corps central dans les cellules va influencer l'axe de la division suivante. Et faire en sorte

## Chez les plantes, c'est une autre histoire !

La phase de séparation lors de la division cellulaire existe aussi dans les cellules végétales. Sauf que ces dernières, contrairement aux cellules animales, sont entourées d'une paroi rigide accolée à la membrane plastique. Laquelle n'autorise aucune invagination de la membrane, comme cela se produit au début du processus de séparation des deux cellules animales filles. Résultat, la division n'implique pas certaines structures indispensables chez les animaux, comme le pont intercellulaire. Après sa phase de croissance, la cellule construit une nouvelle paroi, appelée "plaqué cellulaire", dans le cytoplasme de la cellule mère. Et c'est elle qui va séparer, un peu comme un mur intérieur, les deux cellules filles.

que les cellules résultant de cette division soient positionnées du côté du ventre.

### UN ENJEU POUR LA MÉDECINE

Par quels mécanismes moléculaires le corps central pourrait-il remplir ces différentes fonctions ? Il est encore trop tôt pour répondre clairement. Des travaux publiés en 2014 par Arnaud Echard et son équipe ont apporté un premier éclairage sur un cas particulier : celui où cette structure est libérée dans l'espace extracellulaire. Grâce à l'imagerie "time-lapse" (qui permet de capturer des images d'événements biologiques à des intervalles de temps réguliers), les chercheurs ont mis en évidence que les corps centraux libérés dans le milieu extracellulaire se collent et se déplacent de façon surprenante à la surface des cellules pendant plus de quatre heures, avant de disparaître ! "Ceci suggère qu'ils pourraient être une sorte de signal longue distance, capable d'induire la division de cellules éloignées de celles dont ils dérivent", explique Arnaud Echard.

Confirmer et explorer plus précisément les possibles fonctions du corps central s'avère

donc l'un des enjeux de la biologie cellulaire moderne. Et de la médecine aussi !

En effet, toutes ces découvertes pourraient se révéler cruciales pour la recherche contre le cancer ou les infections virales. Car plusieurs travaux ont montré que les cellules cancéreuses, contrairement aux cellules normales, accumulent plusieurs corps centraux. D'autres recherches indiquent qu'un défaut dans ce processus de séparation pourrait être à l'origine de 37 % des tumeurs présentant une mutation du gène p53. Par ailleurs, il est apparu que certains des mécanismes de la cytocinèse sont identiques à ceux du bourgeonnement viral, crucial pour la réPLICATION du virus du sida dans notre organisme...

Désormais, les chercheurs ne pourront plus l'ignorer : tout semble bien se jouer au beau milieu du pont.



A consulter : les différentes études évoquées dans l'article, dont celles d'Arnaud Echard et son équipe.

Les données collectées par la sonde *Juno* lors de ses deux premiers survols de la géante gazeuse, achevés en août puis en octobre 2016, viennent d'être publiées : elles sont extraordinaires. Vents tumultueux, aurores polaires

# Jupiter n'est pas celle

## Repères

Après *Galileo* (de 1995 à 2003), *Juno* est la sonde qui étudie actuellement le système de Jupiter. Lancée le 5 août 2011 (voir *S&V* n° 1186, p. 74), elle est entrée en orbite le 4 juillet 2016. Elle s'apprête à survoler la géante pour la 6<sup>e</sup> fois et devrait, d'ici à la fin de la mission, prévue pour juillet 2018, effectuer une trentaine de tours. *Juno* est la première sonde entièrement dédiée à Jupiter, et la première capable d'observer en détail ses pôles.

JPL/NASA

étranges, champ magnétique délirant... **Mathieu Grousson** dresse le portrait d'une "planète-univers" plus complexe, plus exotique, plus extrême que tout ce qu'avaient pu imaginer les astrophysiciens. Lesquels espèrent maintenant percer le secret de sa genèse...



qu'on croyait

# 1

## UNE ATMOSPHÈRE TOURNENTÉE

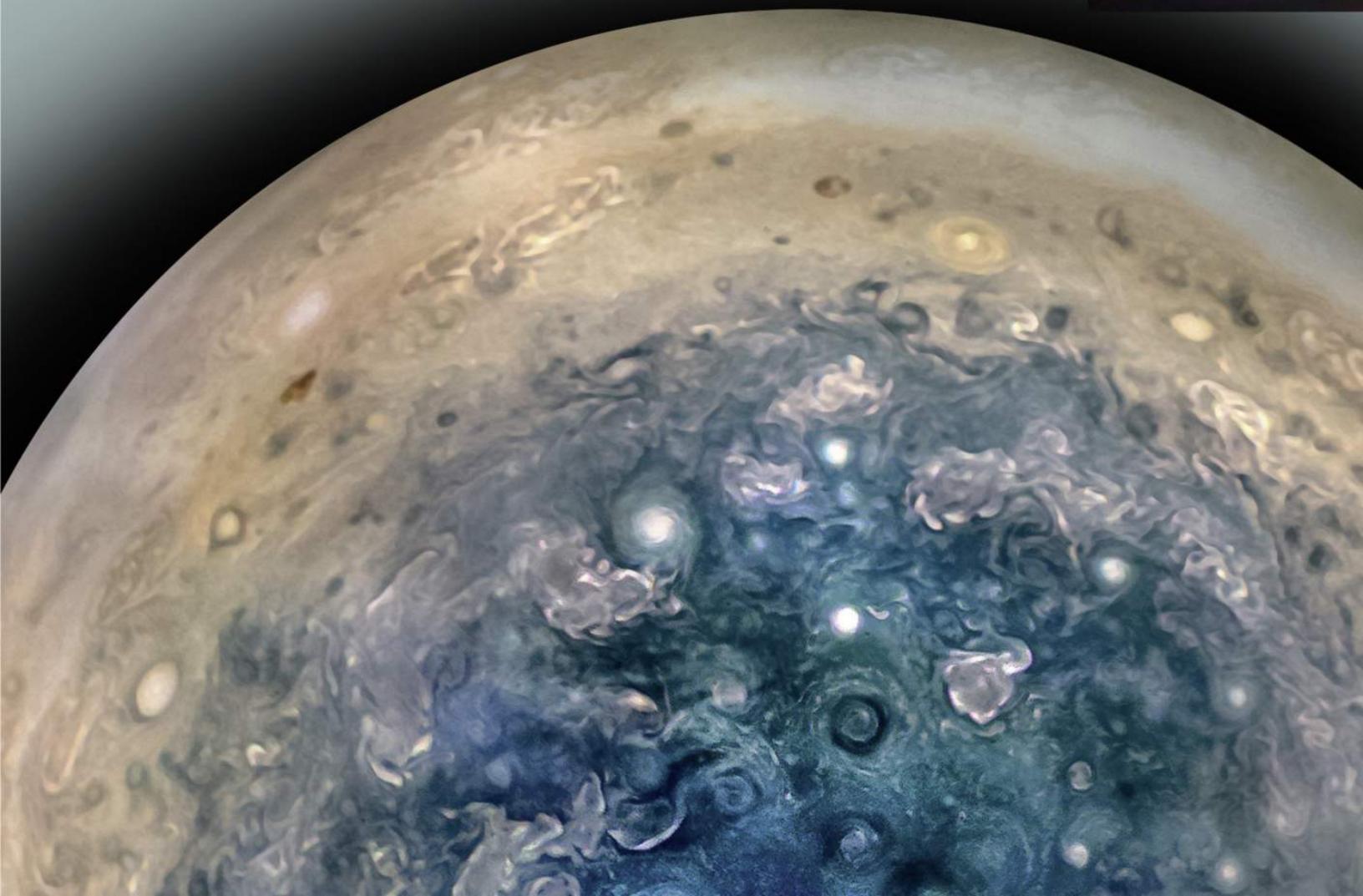
Depuis Galilée, Jupiter est indissociable de ses gigantesques rayures ocre, en réalité des masses de gaz animées par des vents extrêmement puissants, soufflant de 350 à 550 km/h, qui font le tour de la planète alternativement dans le sens de sa rotation et dans le sens opposé.

Oui, mais en regardant pour la première fois sous l'épaisse couche de nuages (photo), et plus précisément en mesurant sa concentration en ammoniac jusqu'à 250 km sous la surface, *Juno* a découvert tout autre chose ! D'après les chercheurs, l'atmosphère jovienne serait aussi animée d'une circulation verticale : un immense panache s'élevant au niveau de l'équateur et replongeant vers les profondeurs aux latitudes tropicales.

“C'est vraiment inattendu”, lâche Tristan

Guillot, chercheur à l'Observatoire de la Côte d'Azur et coinvestigateur de la mission. Selon toute vraisemblance, *Juno* a découvert sur Jupiter une “cellule de Hadley” qui, comme sur Terre, redistribue l'énergie accumulée à l'équateur vers les plus hautes latitudes.

Sauf que, comme l'indique le planéologue, “les modèles ne collent pas complètement”... L'atmosphère de la géante se révèle beaucoup plus complexe qu'envisagé. Il y a quelques semaines, la question était encore de savoir si les bandes de Jupiter étaient un phénomène superficiel ou si elles subsistaient dans les profondeurs de la planète. Plutôt que de répondre, la sonde ajoute une nouvelle pièce au puzzle. “On s'arrache les cheveux”, admet Tristan Guillot. Et ce n'est que le début.





## 2

## DES PÔLES AGITÉS DE TOURBILLONS CHAOTIQUES

C'est une première : grâce à *Juno*, on peut désormais observer les pôles de Jupiter. Et ce, avec un tel luxe de détails que sur certains clichés, l'ombre portée des nuages permet de distinguer le relief de la haute atmosphère jovienne... Le résultat est époustouflant. Loin de la sage structure en bandes qui se déploie de part et d'autre de l'équateur, les hautes latitudes de la géante offrent le spectacle d'un chaos tempétueux, maelström de tourbillons tournant dans tous les sens, et dont les plus gros (photo) atteignent la taille de la Terre.

“Ce n'est pas banal”, commente, ravi, Aymeric Spiga, du Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris. Et pour cause : sur l'autre géante du système solaire, Saturne, les “rayures” se prolongent jusqu'aux pôles,

au-dessus desquels un unique vortex bordé d'une bande hexagonale est visible. “C'est un peu comme si ces deux planètes pourtant comparables à bien des égards présentaient deux extrêmes”, résume le physicien.

Les scientifiques travaillent aujourd'hui à en trouver l'explication. “L'axe de rotation de Saturne sur elle-même est beaucoup plus incliné que celui de Jupiter. Les saisons sont donc bien plus marquées sur cette dernière, avance Aymeric Spiga. Par ailleurs, le flux de chaleur interne de Jupiter est beaucoup plus intense que sur Saturne.” Pour l'heure, ce ne sont que des hypothèses. D'autant que les spécialistes ne savent même pas si ce désordre polaire jovien, observé lors du premier survol, se confirmera dans la durée...

# 3

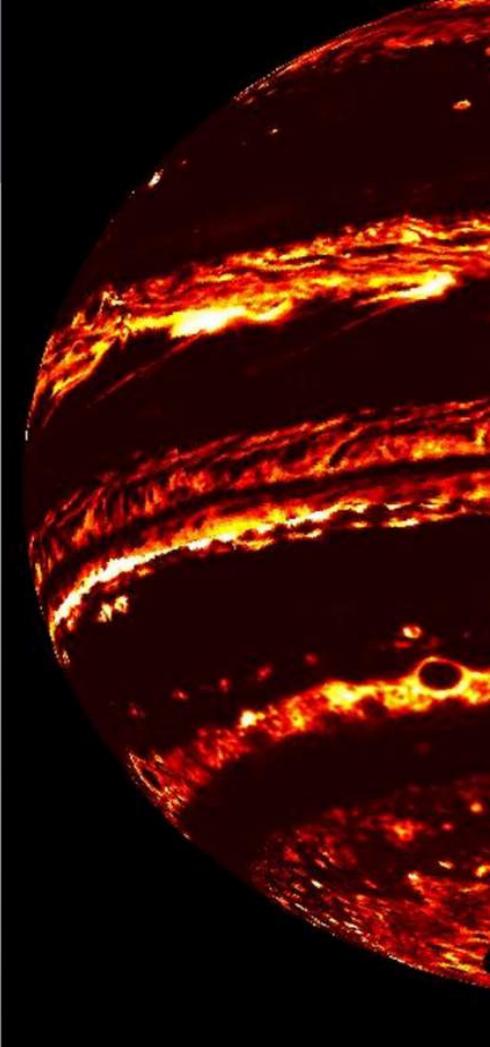
## UN CŒUR PEUT-ÊTRE DILUÉ

Il aura suffi d'un seul survol pour que Juno réalise des mesures du champ de gravité jovien dix fois plus précises que jamais... et révèle un intérieur (ci-contre en infrarouge) complètement inattendu.

Le modèle classique dit qu'au-delà d'une épaisse couche d'hydrogène moléculaire s'étendant au moins jusqu'à 20 000 km de profondeur, le cœur de Jupiter doit être composé d'un océan d'hydrogène liquide, conducteur d'électricité, renfermant en son centre un noyau de glaces et de roches. Sauf que "les mesures vont dans le sens d'une composition très peu uniforme, avec un gradient beaucoup plus marqué que prévu", détaille, perplexe, Tristan Guillot (Observatoire de la Côte d'Azur).

A ce stade, difficile d'être beaucoup plus précis, mais pour les spécialistes, cela signifie que les éléments lourds, autres que l'hydrogène et l'hélium, censés composer le noyau de la géante, sont peut-être en réalité dilués dans son enveloppe, et ce jusqu'à 50 % de son rayon ! "Si cela se confirme, ce sera très éloigné des schémas usuels", commente Aymeric Spiga (Laboratoire de météorologie dynamique).

Le signe d'une évolution plus tumultueuse que prévu ? D'une genèse différente des théories en vigueur ? "Il est bien trop tôt pour répondre", relativise David Stevenson, à l'Institut de technologie de Californie. Mais il est déjà temps de reconsidérer en profondeur ces questions.

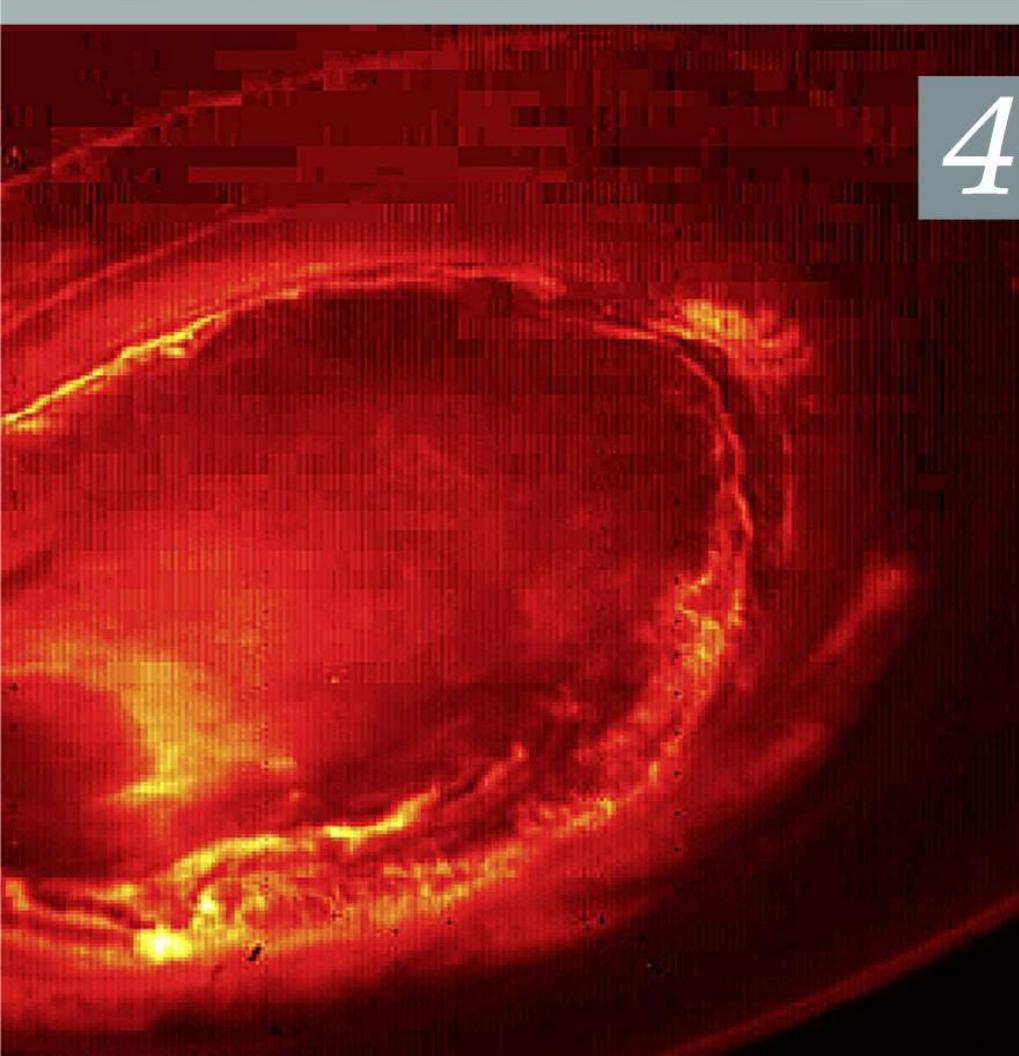


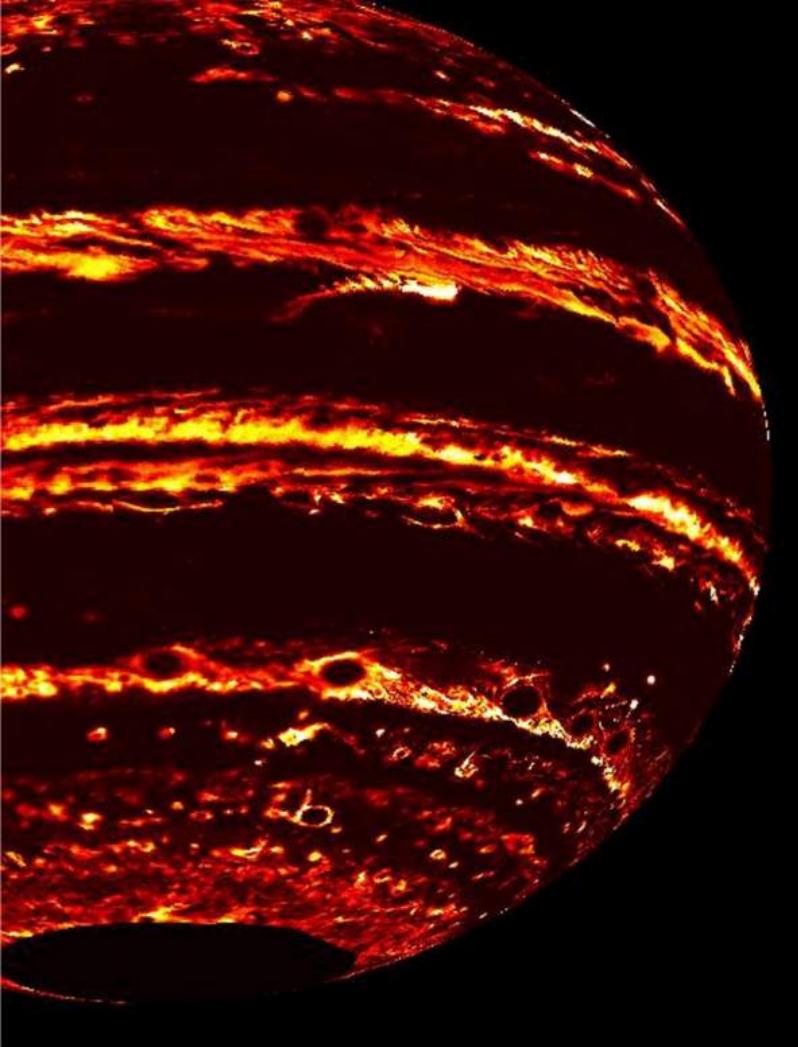
# 4

## DES AURORES

Jupiter est un véritable monstre : son champ magnétique donne naissance à des aurores polaires permanentes cent fois plus intenses que leurs équivalents terrestres... Et bien plus complexes qu'envisagé, d'après les premières images, prises simultanément en infrarouge (photo de gauche) et en ultraviolet (photo de droite), ramenées par Juno.

Comme sur Terre, les aurores joviennes résultent de l'interaction entre un plasma et l'atmosphère au niveau des pôles. Sur notre planète, le phénomène est contrôlé par le vent solaire. Sur Jupiter en revanche, le monstrueux courant électronique qui se déverse aux pôles résulterait d'une compétition complexe entre la tendance du plasma à tourner





5

## UN CHAMP MAGNÉTIQUE TOTALEMENT FOU

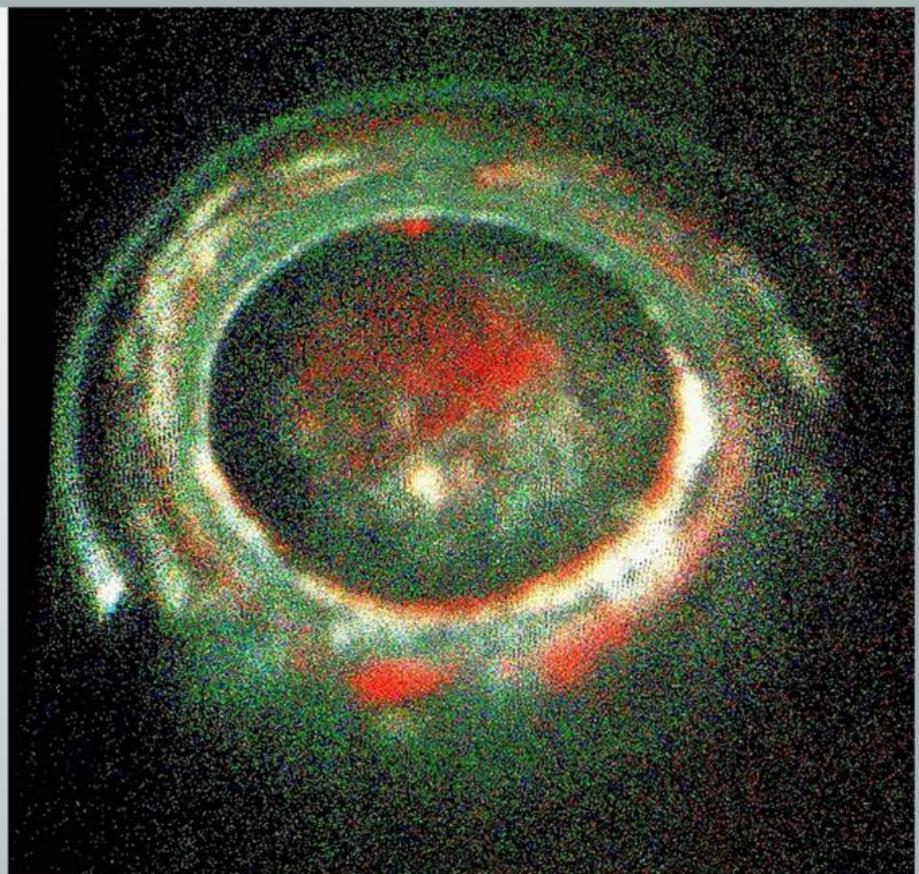
Quinze fois plus intense que celui de la Terre, le champ magnétique de Jupiter vient d'être mesuré au plus près par Juno, première sonde à s'aventurer aussi loin à l'intérieur de la magnétosphère de la géante. Surprise : sa forme et son intensité ne sont pas celles déduites des mesures réalisées par le passé, à distance.

*"Il est plus intense au niveau de l'équateur, et plus faible aux latitudes plus élevées"*, constate Pierre Drossart, du Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique, à Meudon. Ce qui voudrait dire que la dynamo à l'origine du champ magnétique jovien n'opère pas seulement dans les profondeurs de la planète, où l'hydrogène se trouve sous une forme métallique, mais également plus près de la surface. Aucun modèle n'avait envisagé cela !

## MYSTÉRIEUSES

avec la planète et celle des forces centrifuges à l'éjecter vers l'espace. *"Pour l'essentiel, c'est ce que donnent à voir les observations de Juno"*, confirme Michel Blanc, chercheur à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie de Toulouse et coinvestigateur de la mission.

Pour autant, *"la structure filamenteuse des aurores témoigne d'une fragmentation des courants plus complexe qu'envisagé"*, ajoute Jean-Claude Gérard, au département d'astrophysique, géophysique et océanographie de l'université de Liège. *De même, l'énergie et l'orientation des électrons ne sont pas conformes aux prédictions"*. Sans que l'on sache aujourd'hui précisément pourquoi...



J.E. CONNEMEY ET AL. - NASA/JPL-CALTECH/SWRI/MSSS/BETSY ASHER HALL/GERVASIO ROBLES - JPL/NASA

**C**'est un émerveillement!" "Révolutionnaire!" "Il y aura un avant et un après Juno!" "Nos connaissances sont bouleversées!"... La communauté mondiale des planétologues est unanime: les résultats des deux premiers survols de Jupiter par la sonde *Juno*, publiés les 25 et 26 mai, dépassent toutes les espérances. La géante, à laquelle aucune mission spécifique n'avait été

qu'une mise en bouche – une trentaine d'orbites sont programmées jusqu'en juillet 2018 –, mais déjà, Jupiter se révèle être un monde étonnamment complexe et exotique.

Des surprises qui poussent les spécialistes à revoir leur vision de cette machinerie planétaire, et qui leur permettront enfin de démêler l'histoire de sa naissance. Jusqu'ici, il y avait en effet deux scénarios. Jupiter aurait pu naître d'une instabilité

une formation par accrétion, non d'embryons planétaires les uns avec les autres, mais de "galets" centimétriques sur un unique embryon. Un scénario proposé récemment par plusieurs équipes (voir *S&V* n°1181, p. 70). "De cette façon, on engendre assez naturellement ce gradient de composition mesuré par *Juno*, les galets se dissolvant bien plus facilement dans l'enveloppe", argue Tristan Guillot, à l'Observatoire de la Côte d'Azur.

"Il est trop tôt pour trancher", tempère David Stevenson (Institut de technologie de Californie). Les spécialistes attendent en particulier que *Juno* détermine précisément la quantité d'eau présente sur Jupiter. Selon l'unique mesure réalisée par la sonde *Galileo* lors de sa plongée suicidaire, en 2003, le précieux liquide serait quasi absent de la géante. Or, les modèles de formation planétaire ne fonctionnent qu'à la condition d'imaginer un matériau originel fortement hydraté...

De la résolution de cette énigme dépend le scénario de la naissance de Jupiter. Mais également de celle des autres planètes géantes, Saturne, Uranus et Neptune. Ainsi que la composition de la nébuleuse primordiale d'où le système solaire a émergé tout entier... Avec Jupiter, c'est toute la genèse de notre monde qui commence, enfin, à se dévoiler.

## La Grande Tache rouge en ligne de mire

Le 11 juillet, *Juno* a rendez-vous avec une icône du système solaire... Lors de son sixième passage au-dessus de Jupiter, la sonde survolera en effet pour la première fois le gigantesque anticyclone – il est long de 15 000 km et les vents y soufflent à 700 km/h – de l'atmosphère jovienne. Les astronomes ont beau l'observer depuis 350 ans, ils n'en savent pas grand-chose... Quel est le secret de sa pérennité ? Va-t-il disparaître un jour ? "Son rayon diminue depuis vingt ans", observe Pierre Drossart. En même temps, "on a l'impression qu'il absorbe les petits vortex qui passent près de lui", ajoute Thérèse Encrenaz, elle aussi planétologue à Meudon. Une chose est sûre, dans l'œil de *Juno*, le spectacle s'annonce grandiose !

dédiée depuis quinze ans, cette planète-univers qui représente à elle seule 70 % de la masse des planètes du système solaire, méritait bien qu'on y retourne. "C'était un long voyage, mais ça en valait la peine !" résume, émue, Diane Brown, responsable du programme à la Nasa.

Et comment ! Une météo capricieuse, d'incroyables tempêtes polaires, une structure interne stupéfiante, des aurores à l'origine incertaine et un champ magnétique au-delà des prédictions (voir pages précédentes)... La quarantaine d'articles scientifiques tout juste publiés n'est

gravitationnelle au sein du gaz primordial, qui se serait effondré sur lui-même. Ou bien des blocs de roches et de glaces se seraient d'abord agrégés jusqu'à constituer un noyau de dix fois la masse de la Terre, avant que celui-ci n'attire à lui l'enveloppe gazeuse constituant l'essentiel des planètes géantes.

### LA QUESTION CRUCIALE DE L'EAU

*Juno* a tranché: ses mesures montrent que Jupiter serait bien dotée d'un noyau. Mieux, celui-ci serait pour partie dilué dans les couches supérieures, ce qui plaiderait pour



A voir : toutes les images de Jupiter prises par la sonde *Juno*, sur le site de la Nasa. **EN SAVOIR PLUS** science-et-vie.com

# & Science techniques

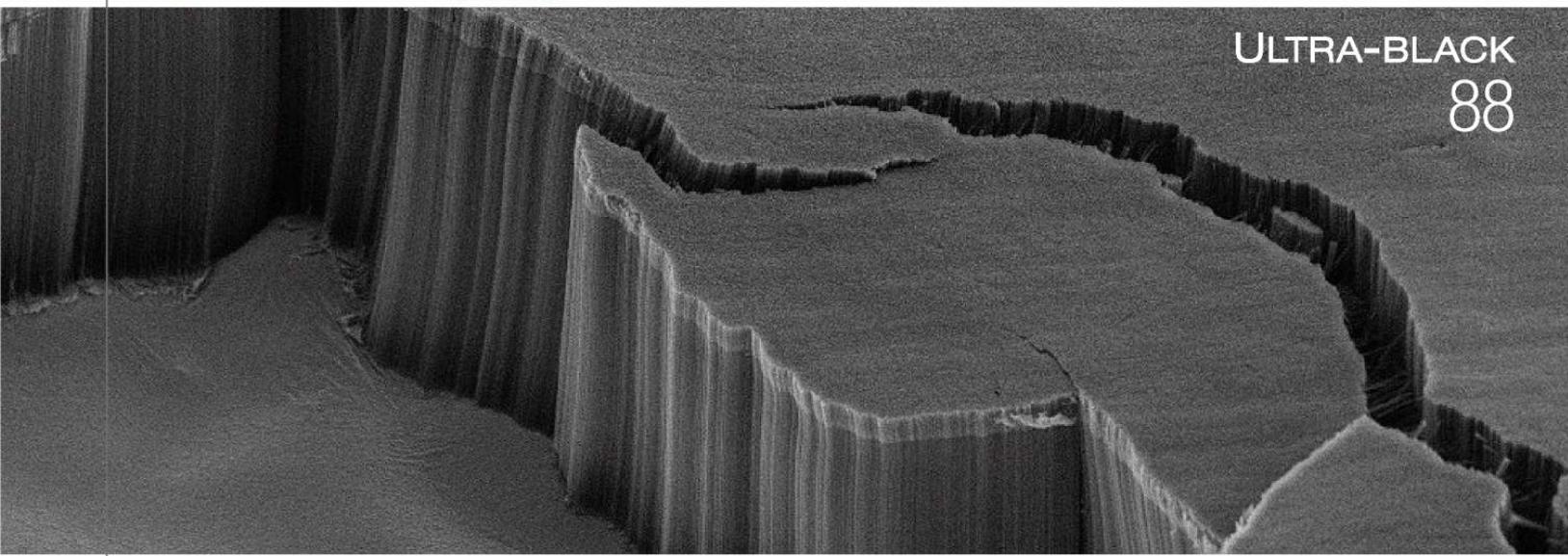
ÉLIXIR DE JOUVENCE

84



ULTRA-BLACK

88



ÉCRAN SENSORIEL

94



Sang

# Le nouvel élixir de jouvence?



Croyance païenne, fantasme gothique ? Non, révèle **Elsa Abdoun** : des expériences récentes montrent que transfuser du sang jeune tarde la vieillesse !

**E**t si l'élixir de jeunesse coulait dans nos veines ? Du moins chez ceux d'entre nous qui n'en ont pas encore asséché la source : les jeunes. L'hypothèse, qui semble tout droit sortie d'un film de vampires, est étudiée de plus en plus sérieusement depuis que des expériences ont montré que le sang extrait des veines d'un organisme

dans la force de l'âge peut régénérer les corps affaiblis par le poids des années. Au point que, pour lutter contre les nombreuses maladies associées à la vieillesse, de premiers essais de transfusion de patients viennent de démarrer.

Cette piste surprenante dans la quête de la jeunesse éternelle – ou du moins prolongée – s'est ouverte avec les expériences réalisées en 2005 par Michael Conboy et ses collègues de l'université Stanford. *“Nous nous demandions pourquoi les organes vieillissaient tous plus ou moins à la même vitesse, et nous avons pensé que le sang qui les reliait pouvait être une explication”,* raconte le chercheur.

Pour le vérifier, son équipe a relié temporairement le

réseau vasculaire de souris jeunes à celui de souris âgées, comme s'il s'agissait de siamois – une opération chirurgicale complexe, nommée parabiose. Et ils ont constaté que les muscles et le foie des plus vieilles se régénéraient plus efficacement, tandis que l'inverse se produisait chez les souris jeunes.

#### LE CŒUR MOINS GROS

Il semblait donc bien que quelque chose, dans le sang des souris âgées, favorisait le vieillissement des organes, tandis qu'une autre, chez les jeunes, les régénérait. Une découverte troublante confirmée depuis par plusieurs expériences de parabiose et de transfusions.

Le sang jeune diminuerait par exemple l'hypertrophie du cœur des souris vieilles, suggérait en 2013 une équipe américaine, dirigée par Amy Wagers et Richard Lee, de l'hôpital Brigham de Boston.

Mais les études se sont surtout concentrées sur le →

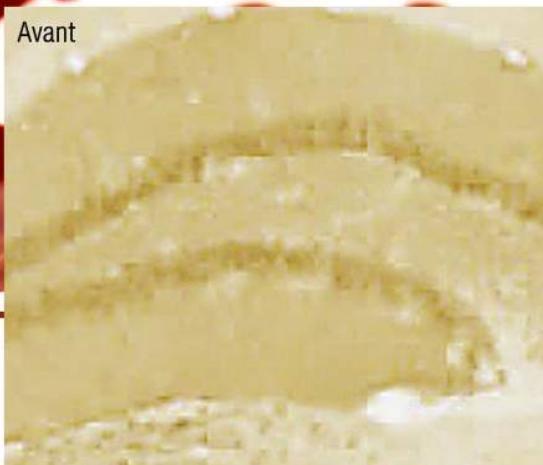
#### Contexte

Télomères, stress oxydant... Alors que de nombreuses pistes pour lutter contre le vieillissement sont déjà envisagées, le sang jeune vient s'ajouter à la liste. Si certains en ont fait un “business”, proposant des transfusions “anti-âge” contre des milliers de dollars, d'autres travaillent sérieusement à en faire, un jour, un traitement à l'efficacité démontrée.

## Un effet régénérant sur divers organes

### Le cerveau fonctionne mieux

En 2016, l'équipe de Tony Wyss-Coray montre, sur des souris Alzheimer, que la transfusion de sang jeune pendant cinq semaines réduit les marques de la maladie dans le cerveau, notamment dans la concentration en calrétinine, qui sert à la signalisation entre neurones (en jaune-brun ci-dessus ; à g., une souris non exposée au sang jeune, à dr., une souris exposée).



+200%

C'est l'augmentation du pourcentage de souris Alzheimer ayant réussi à un test de mémoire basé sur la peur, après transfusion de plasma jeune.

→ système nerveux. Selon les résultats publiés en 2012 par une équipe internationale dirigée par Tony Wyss-Coray, de l'université Stanford, le sang jeune pourrait stimuler la fabrication de nouveaux neurones chez les souris âgées. Tandis qu'une équipe anglo-américaine, codirigée par Amy Wagers, toujours, observait un effet régénérant au niveau de la moelle épinière.

Les deux chercheurs ont confirmé en 2014 l'importance cognitive de leurs observations : Amy Wagers en suggérant que le sang jeune améliorait l'olfaction des souris âgées, et Tony Wyss-Coray en démontrant que la transfusion de plasma (sang débarrassé de toutes ses cellules, telles que globules blancs et rouges), extrait d'un organisme jeune, améliorait les performances des souris âgées à certains tests de mémorisation et d'apprentissage.

Enfin, il y a quelques mois, ce dernier a prouvé que le sang humain provoquait le même type d'effet. Et ce, en transfu-

sant des souris vieilles avec le plasma de la jeunesse ultime : celui du cordon ombilical.

Mais d'où viendraient ces pouvoirs alchimiques du sang des jeunes ? Les scientifiques tentent depuis plusieurs années d'identifier les molécules favorisant cette régénération. Des expériences d'injection de quelques-unes d'entre elles ont déjà donné des résultats prometteurs, et les pistes de recherche ne manquent pas : *“Des centaines de molécules voient leur taux sanguin changer avec l’âge”*, affirme Tony Wyss-Coray.

### L'humanité aspirera-t-elle le sang de ses enfants pour soigner ses aînés ?

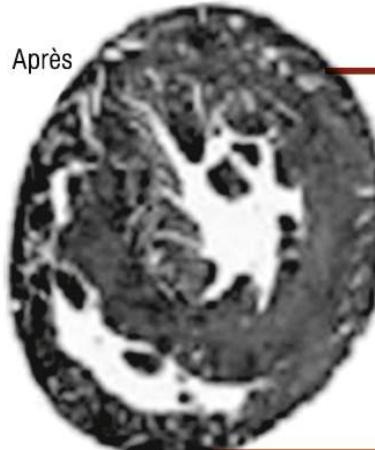
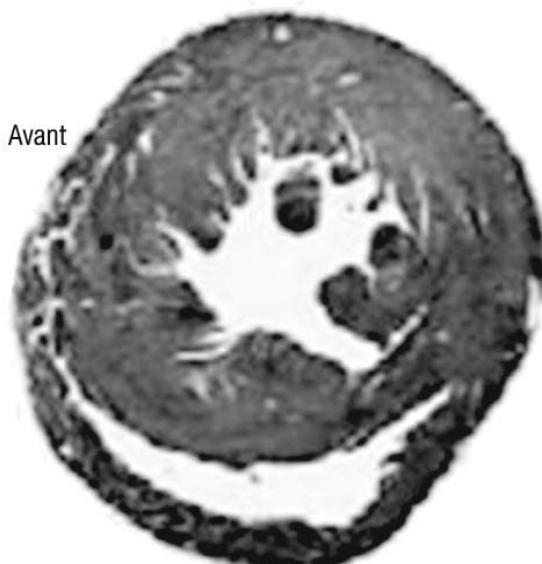
D'où viendraient, à l'inverse, les molécules à l'action opposée qui, avec les années, les remplacent progressivement dans le sang ? *“On peut imaginer que certains tissus ou organes, en vieillissant,*

*‘infectent’ les autres en produisant de plus en plus de molécules néfastes, qui vont voyager dans le sang”*, avance le neurologue. Reste à identifier lesquels.

Le chercheur partage l'espoir, avec de nombreux confrères, qu'inhiber l'action de ces molécules liées au vieillissement, et renforcer celle des molécules régénératrices présentes dans le sang jeune, pourra ralentir notre vieillissement.

Au point de vivre plus longtemps ? Une seule étude, publiée il y a près d'un demi-siècle et étonnamment tombée dans l'oubli, avait testé l'effet des échanges de sang entre générations sur toute la durée de vie. Elle suggérait que la procédure allongeait celle des souris les plus âgées de 20 %. Mais l'étude demande confirmation.

En attendant ce Graal du prolongement de la vie, l'objectif est déjà de prévenir ou soigner les nombreuses maladies chroniques favorisées par l'âge (pathologies cardio-vasculaires ou neurodégénératives, fragilité osseuse et musculaire...), mais aussi de favoriser la régénération des organes après un accident ou une opération chirurgicale.

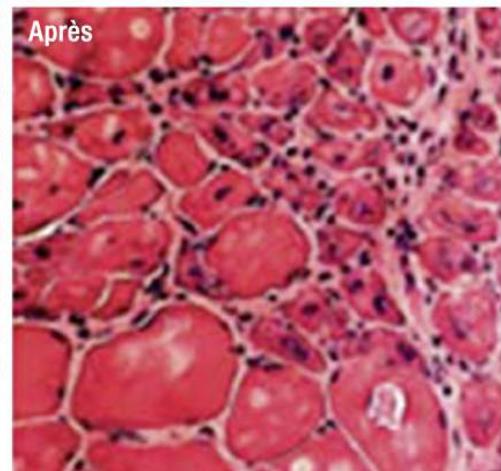
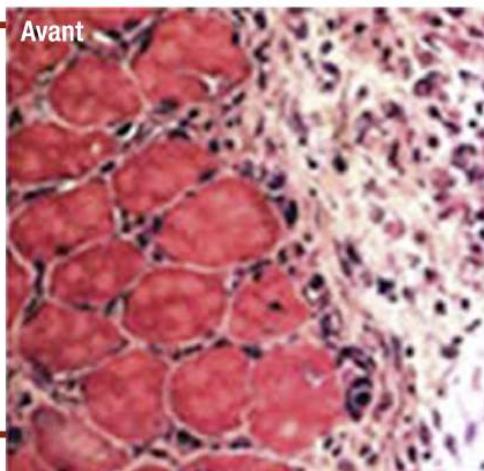


### Le cœur retrouve sa taille de jeunesse

En 2014, une équipe dirigée par Amy Wagers et Richard Lee montre que des vieilles souris (âgées de près de 2 ans) exposées pendant quatre semaines à du sang de souris jeunes (âgées de 2 mois) voient le volume de leur cœur, hypertrophié par l'âge (à g.), revenir à son niveau de jeunesse (à dr.).

### La cicatrisation des muscles s'améliore

En 2005, l'équipe de Michael Conboy montre que les muscles de souris vieilles (19 à 26 mois) se régénèrent plus efficacement, suite à une agression par le froid, si elles ont préalablement été exposées, durant cinq semaines, à du sang de souris jeunes (2-3 mois). En effet, toute trace de fibrose (à g., en blanc) a alors disparu, comme chez les souris jeunes.



Et les premiers essais sur l'homme ont déjà commencé. Dès 2014, Tony Wyss-Coray a fondé une start-up, Alkahest, qui a depuis procédé à des transfusions hebdomadaires de quelques décilitres de plasma – donné par des individus de moins de 30 ans, et acheté aux banques de sang lorsqu'elles avaient du surplus – à 18 patients atteints d'Alzheimer.

### TESTÉ APRÈS UN AVC

Quelques essais ont aussi récemment démarré pour étudier les effets des transfusions de sang jeune sur d'autres pathologies neurodégénératives comme la maladie de Parkinson, ou pour prévenir la fragilité liée à l'âge ou améliorer la récupération de patients âgés

après un accident vasculaire cérébral.

Selon Michael Conboy, dont les derniers travaux suggèrent un effet régénérant du sang jeune plus faible que celui observé par Tony Wyss-Coray, ces essais cliniques sont prématurés : *“Les effets observés lors des expériences de parabiose sur les souris pourraient être dus à d'autres facteurs que l'action directe du sang jeune, et notamment à la dilution des facteurs inhibiteurs de la régénération présents dans le sang vieux,”* estime le chercheur. *“Un bénéfice que l'on ne reproduira pas par de simples transfusions de quelques décilitres de sang jeune.”*

Le débat pourrait être tranché avec l'annonce prochaine

des résultats de l'essai contre Alzheimer. S'ils étaient positifs, se poserait alors une question angoissante : l'humanité aspirera-t-elle le sang de ses enfants pour soigner ses aînés ? *“Ce n'est probablement pas une solution de long terme,”* reconnaît Tony Wyss-Coray. Les molécules responsables devront donc bien être identifiées, afin de produire des médicaments plus traditionnels. N'en déplaise aux amateurs d'hémoglobine.

Mais, même si l'élixir de jouvence était fabriqué artificiellement, il n'en resterait pas moins issu du plus profond de nous. Une conclusion parfaite pour une quête qui aura fait courir les humains durant des milliers d'années... et sur des milliers de kilomètres.



A lire : les principales publications citées dans l'article.

A voir : une conférence TED de Tony Wyss-Coray.

**science-et-vie.com**

# ULTRA BLACK

## Repères

Le noir n'est pas une couleur mais plutôt une absence de couleur : un objet parfaitement noir est un objet qui absorbe la lumière qu'il reçoit sans rien réfléchir en retour. En physique, on appelle cet objet idéal un corps noir, qui n'émet de la lumière que sous forme de chaleur.

# La quête du noir absolu

Comment créer un matériau qui absorbe le plus possible la lumière qu'il reçoit, afin d'obtenir un noir absolu ? Les physiciens, lancés dans une course aux records, rivalisent d'audace pour façonner des surfaces piégeuses de photons... et décrocher une foule d'applications. **Muriel Valin** compte les points.

**A**près la tour la plus haute, l'objet le plus solide... voici la quête du matériau le plus noir ! Celui qui absorbe le plus la lumière ou, dit autrement, qui la réfléchit le moins. Des Etats-Unis à l'Arabie Saoudite, en passant par l'Europe, une dizaine d'équipes de chercheurs se sont lancées dans cette nouvelle course extrême : créer des matériaux qui se rapprocheraient des fameux corps noirs théorisés par la physique (voir Repères).

Certes, au premier abord, le défi a quelque chose de trivial, voire de puéril. D'autant plus qu'il figure dans le *Livre Guinness des records*. Sauf qu'il ne s'agit pas ici de mettre au point un vulgaire pigment, mais plutôt de structurer des matériaux à l'échelle nanométrique. De la physique de pointe, avec, à l'arrière-plan, de véritables enjeux.

Car les ingénieurs ont des idées par dizaines de tout ce qu'on pourrait faire avec un matériau qui ne réfléchit aucune lumière : gommant tous

les reliefs, il serait idéal pour des revêtements de camouflage destinés à des applications militaires (notamment sur les avions de chasse) ; absorbant toutes les particules lumineuses, il ferait des panneaux solaires très efficaces... Il pourrait aussi supprimer les rayonnements parasites qui polluent les dispositifs optiques des caméras, appareils photo et autres télescopes.

C'est d'ailleurs dans le domaine du spatial que cette sombre quête a commencé, il y a dix ans environ, par une



→ demande émanant d'astronomes de la Nasa. Un obstacle de taille contrariait leurs télescopes spatiaux : l'éblouissement. "Quand on voulait observer des signaux lointains très faibles, on était régulièrement gêné par des signaux parasites venant d'objets plus lumineux interceptés simultanément", raconte John Hagoian, spécialiste en optique, l'un des premiers à avoir évoqué cette difficulté, en 2007.

Ce fut le cas notamment avec le télescope spatial *Hubble*. Les chercheurs avaient appliqué, autour de l'optique, une peinture très noire, baptisée Z306, pour absorber au mieux les rayonnements, mais le résultat ne fut pas satisfaisant.

*"On s'est alors dit qu'il faudrait inventer un matériau encore plus noir, capable de mieux contrôler l'éblouissement, ce qui nous permettrait de voir des planètes proches d'étoiles très brillantes, mais aussi, sur Terre, des océans sombres à côté de surfaces de glace brillantes"*, poursuit le chercheur.

#### AGIR AU CŒUR DE LA MATIÈRE

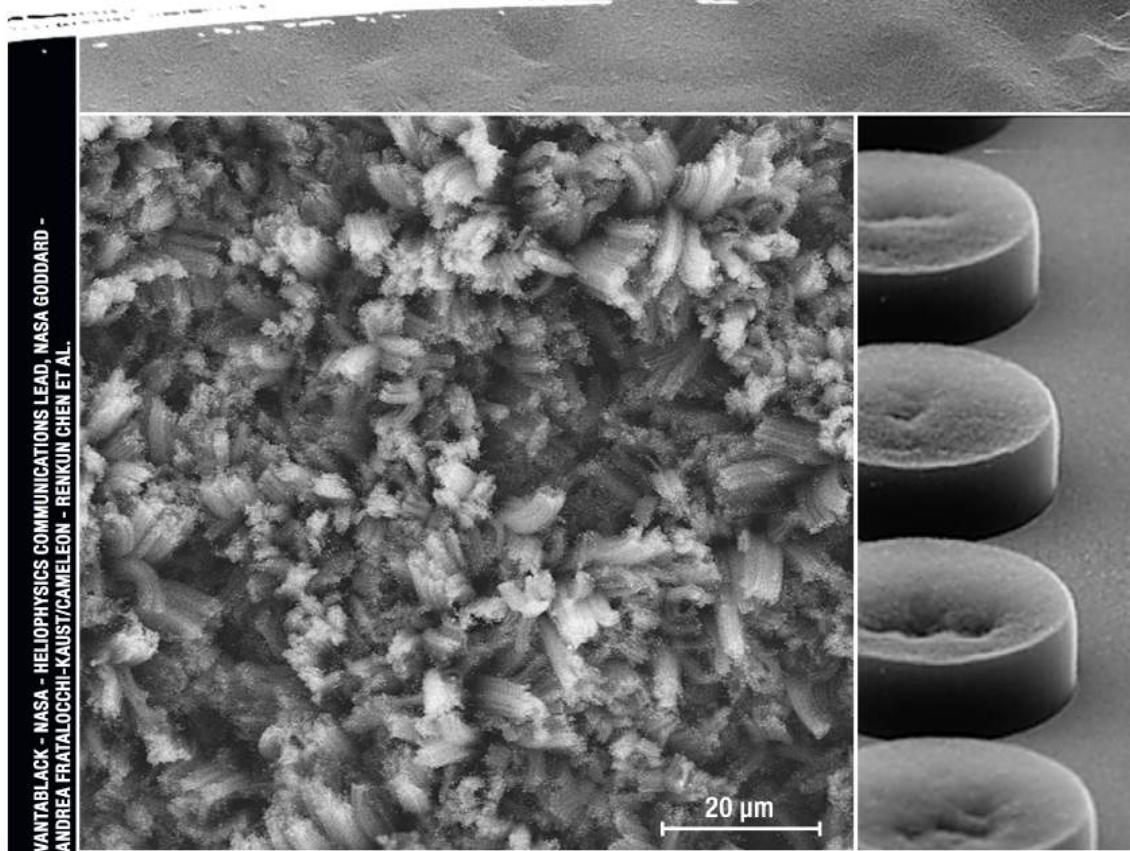
La quête est dès lors lancée. Et, très vite, les spécialistes acquièrent une conviction : jouer simplement sur la composition chimique des matériaux ne suffira pas pour se rapprocher du noir absolu – la peinture noire classique吸ue au mieux 90 % du rayonnement. Pour piéger plus de particules de lumière, il va falloir carrément structurer la matière à l'échelle nanométrique, en jouant sur ses propriétés géométriques et mécaniques. Une piste s'impose alors très rapidement : les nanotubes de carbone. →



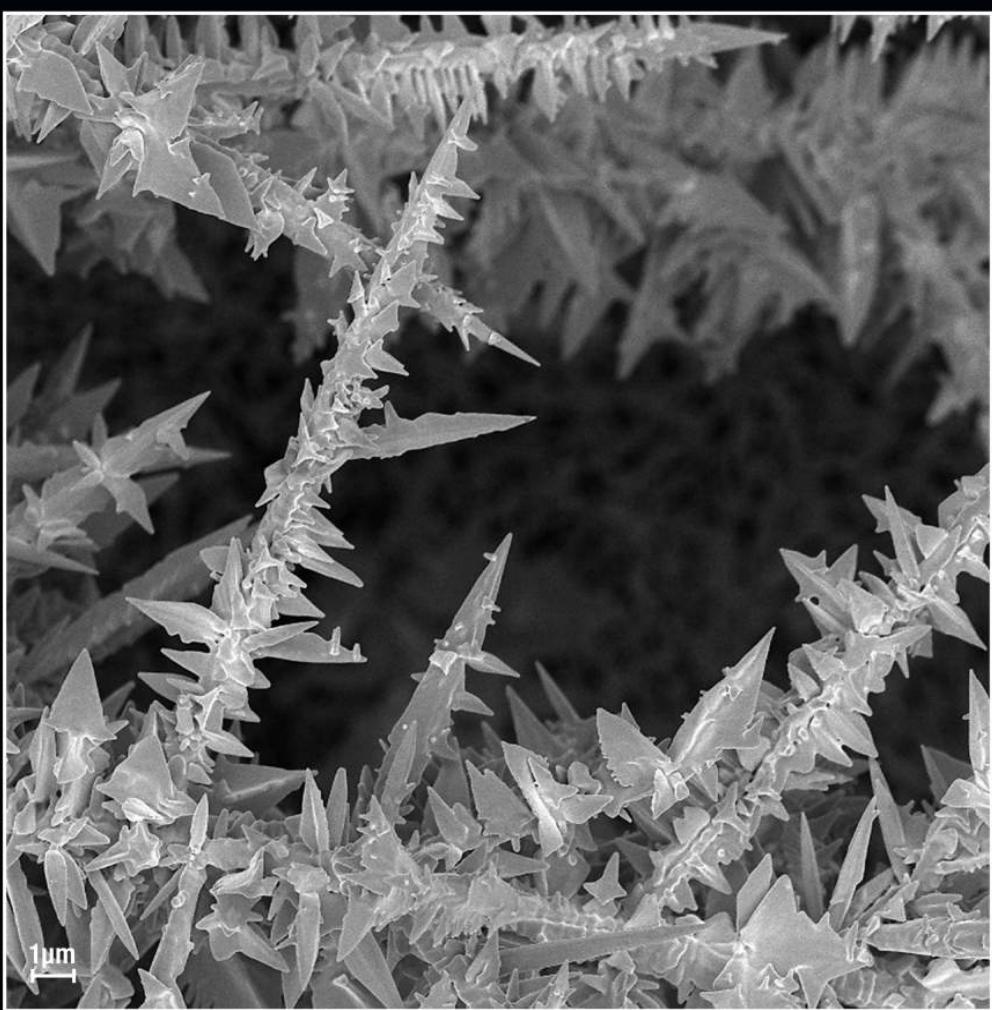
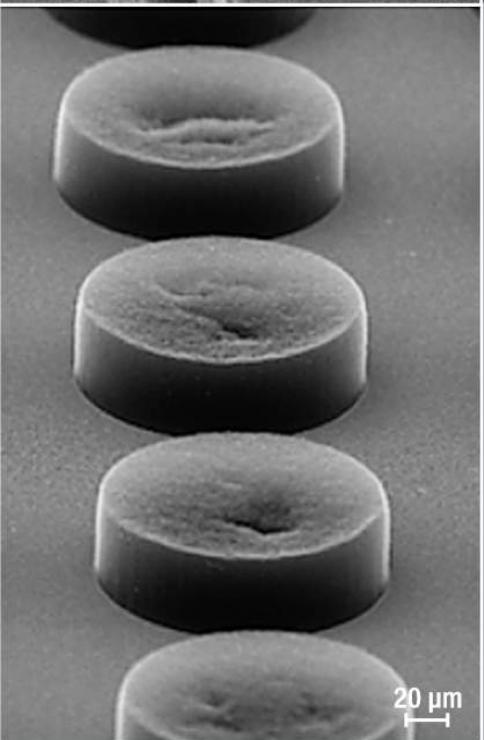
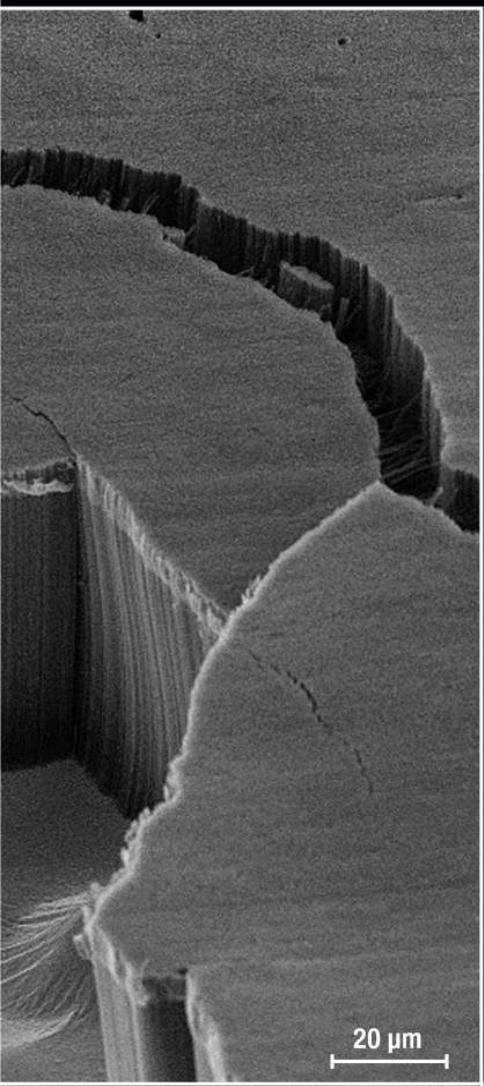
## DEUX PISTES DE RECHERCHE

### Les nanotubes

Première piste : aligner, sur un substrat, des nanotubes de carbone qui forment ainsi un tapis rempli essentiellement de vide. Quand un rayonnement frappe cette surface, il zigzague entre les nanotubes et n'arrive plus à en sortir. Il est en grande partie absorbé par le matériau. Ces revêtements (ci-contre, le Vantablack ; ci-dessous, celui de la Nasa) absorbent plus de 99,6 % de la lumière.



VANTABLACK - NASA - HELIOPHYSICS COMMUNICATIONS LEAD, NASA GODDARD - ANDREA FRATALOCCHI-KAUST/CAMELEON - RENKUN CHEN ET AL.



## Les nanoparticules

Autre solution : piéger les rayons lumineux avec des nanoparticules assemblées un peu comme une éponge. La lumière pénètre dans les interstices mais ne trouve pas de support pour être réfléchie. Elle reste en grande partie bloquée. C'est la piste qu'explorent les universités d'Arabie Saoudite (ci-dessus) et de Californie (ci-contre), avec un taux d'absorption de plus de 99 %.

→ C'est John Hagopian et son équipe qui ont été les premiers à avoir l'idée. Ces petits cylindres 100 000 fois plus minces qu'un cheveu étaient alors plus convoités en électricité que pour leurs caractéristiques géométriques et optiques. A tort! "Nous nous sommes rendu compte que ce matériau pouvait devenir un excellent absorbeur de lumière", explique-t-il. De fait, les nanotubes plantés de manière parallèle forment une sorte de tapis "rempli" à 99 % de vide. En venant frapper cette surface, les photons pénètrent à l'intérieur, se promènent entre les tubes et ne réussissent pas à en ressortir car il y a trop peu de matière pour les réfléchir. Le tapis piège ainsi une bonne partie du rayonnement lumineux qui l'atteint. Dès 2007, ce revêtement



s'avère effectivement dix fois plus absorbant que le Z306! Il engloutit littéralement 99,5 % des rayons lumineux – de l'UV jusqu'à l'infrarouge en passant par le spectre visible.

Stimulées par cette première prouesse, d'autres équipes, aux Etats-Unis, relèvent à

leur tour le défi, en variant l'agencement des nanotubes... Ainsi, en 2008, l'institut RPI (Rensselaer Polytechnic Institute), à New York, clame avoir créé le matériau le plus noir au monde; son taux d'absorption: 99,9 % ! Le chiffre entre dans le *Livre Guinness des records*.

Beau joueur, Hagopian reconnaît la performance, tout en soulignant que son produit se montre plus résistant pour des applications spatiales et continue à s'améliorer (avec, promet-il, un nouveau record pour 2018). "Réduire la taille et la densité des nanotubes est la clé pour progresser. Nous n'allons pas pouvoir continuer à construire des télescopes toujours plus grands, s'enthousiasme-t-il. Pour gagner en sensibilité et résolution, il faudra donc compter sur l'ultra-noir."

Et la course s'accélère. En 2014, une entreprise britannique, Surrey NanoSystems, présente un nouveau matériau: le Vantablack. Son taux d'absorption? 99,965 %, pour

## Et le super-blanc alors?

Tout comme le noir, le blanc n'est pas une couleur. Il est obtenu en mélangeant toutes les couleurs réfléchies. Que signifierait alors de rechercher un super-blanc? "Cela reviendrait à trouver une surface qui réfléchirait au maximum les rayons lumineux", répond Martine Mayne-L'Hermite, du CEA. Les matériaux les plus blancs sont donc... des miroirs. Il en existe en verre et en métal (en aluminium notamment) extrêmement polis, dont les propriétés s'avèrent bien supérieures à celles des blancs les plus réfléchissants. L'équipe la plus en pointe dans ce domaine se situe en France, au Laboratoire des matériaux avancés du CNRS: ses miroirs réfléchissent 99,999 % de la lumière incidente infrarouge; ils sont notamment utilisés dans le détecteur d'ondes gravitationnelles Ligo.



une longueur d'onde donnée (750 nm). Record battu. "D'ici quelques années, nous imaginons décliner notre produit sur toute une série d'objets du quotidien : caméras, smartphones, voitures autonomes... pour gagner en qualité d'optique et enlever tout signal parasite", vante Ben Jensen, responsable technique de Surrey Nano-Systems qui, en 2016, a lancé différentes variantes de son matériau, dont une en spray. Le produit gomme les reliefs de manière tellement spectaculaire que l'artiste Anish Kapoor en a acquis les droits exclusifs pour son usage !

### COMME DANS UNE ÉPONGE

A côté des nanotubes, d'autres équipes cherchent des pièges à lumière du côté des nanoparticules. Ainsi, en Arabie Saoudite, Andrea Fratalocchi, de l'Université des sciences et technologies du roi Abdallah, mise depuis 2014 sur des assemblages de tiges et de sphères en or: lorsque la

lumière frappe cette matière, elle est absorbée comme dans une éponge aux pores infinis (les nanoparticules) et n'arrive plus à en ressortir. "Je me suis inspiré d'une technique de camouflage d'un coléoptère asiatique très blanc en inversant le procédé", explique le scientifique – qui, à son tour, est entré dans le *Livre des records* en 2015. Absorbant plus de 99 % de la lumière du spectre visible pour toutes les longueurs d'onde, ce revêtement se démarque des structures en nanotubes par une épaisseur 100 fois plus fine pour le même résultat. Le chercheur a déjà intégré son matériau dans un prototype de cellule solaire piégeuse de photons.

L'avantage des nanoparticules sur les nanotubes, c'est qu'elles sont stables à haute température, là où les tubes s'oxydent voire brûlent à plus de 500 °C. "Nous ne battons pas forcément le record du noir le plus profond avec cette technologie, mais ce noir

*promet d'être le plus efficace pour certaines applications*", poursuit Renkun Chen, à l'université de Californie, qui parie, lui, sur des surfaces truffées de nanoparticules à base d'oxydes métalliques (cobalt, cuivre, fer...) très stables, pour des centrales solaires thermiques à concentration.

"Au-delà de cette concurrence, ce qui est très intéressant c'est de voir à quel point la recherche fondamentale et la recherche appliquée devraient progresser grâce à toutes ces découvertes", commente Martine Mayne-L'Hermite, chercheuse au CEA sur les nanotubes de carbone. *Car l'interaction matière-lumière présente encore beaucoup de secrets.*"

De quoi comprendre un jour comment la matière agit finement sur la lumière à l'échelle atomique et réciproquement ? Ou encore comment l'une peut se transformer grâce à l'autre ? Tout de suite, l'enjeu d'entrer dans le *Guinness* paraît moins anecdotique...

▲ Pas de retouche sur ces photos... mais un noir extrême, le Vantablack, qui, en absorbant la lumière, donne l'impression de gommer tous les reliefs, même ceux des sculptures.



A voir : la galerie des applications les plus spectaculaires du Vantablack.  
A lire : les travaux pionniers sur l'ultra-noir.

# Voici le premier écran vraiment tactile

Jusque-là, les écrans étaient "tactiles"... Aujourd'hui, ils reproduisent le sens du toucher ! Un premier prototype d'écran sensoriel est commercialisé. **Gautier Depambour** a plongé dans cette techno futuriste.

L'expérience est troublante. Si vous passez votre doigt de la gauche vers la droite sur une tablette où figure l'image d'un poisson, vous sentez la froideur et l'inconsistance qui caractérisent n'importe quel écran tactile. En revanche, si vous tentez de caresser le poisson dans l'autre sens, de la droite vers la gauche... Surprise ! Vous sentez des frottements successifs qui vous donnent l'impression de toucher des écailles. Enfin,

si vous vaguez sur l'écran jusqu'à vous retrouver sur l'œil du poisson, votre doigt se met à glisser, sans résistance, comme si la surface avait été lubrifiée et que vous étiez en train de palper une petite bille.

Voici donc le premier écran capable de procurer une sensation de toucher. Il est commercialisé depuis le mois de juin par la start-up grenobloise HAP2U, dont le nom s'inspire de la science du toucher, l'haptique. Un second prototype a été présenté en même temps par une entreprise américaine, Tanvas. Après quelques essais infructueux par plusieurs équipes, ces dernières années, voici enfin la technologie qui pourra faire entrer les interfaces tactiles dans une nouvelle ère et ouvrira la voie à une multitude d'applications susceptibles de concerner



aussi bien les acheteurs en ligne indécis que les passionnés de jeux vidéo, les automobilistes, voire les aveugles. *"Nous voulons faire émerger la réalité physique des objets tactiles du quotidien en donnant l'impression de toucher ce qui apparaît sur l'écran"*, s'exclame Cédrick Chappaz, fondateur et manager d'HAP2U.

Car, jusque-là, les écrans tactiles n'avaient en fait rien de... tactile : la sensation perçue du bout du doigt sur un smartphone est toujours uniforme, sans densité. *"C'est un paradoxe étonnant : les interfaces tactiles n'exploitent en*

## Repères

Si les écrans tactiles existent depuis le début des années 1970, ils ne se sont vraiment démocratisés qu'en 2007 avec l'iPhone d'Apple, puis en 2010 avec le Samsung Galaxy, et en 2012 avec la tablette PC Surface de Microsoft. Aujourd'hui, au moins pour les téléphones et tablettes, les écrans tactiles ont largement pris le pas sur les claviers.



*rien notre sens du toucher!"* pointe Cédrick Chappaz. Oui, mais comment donner du relief à un écran plat?

HAP2U a misé sur la piézoélectricité, une propriété dont disposent certains matériaux – déjà largement exploitée dans l'électronique – qui leur permet de se déformer lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique. Collés à une plaque de verre, ils y engendrent par leur déformation des ondes ultrasoniques – la plaque prend la forme d'une tôle ondulée..., ce qui provoque des sensations tactiles (voir infographie).

Concrètement, Cédrick Chappaz et son équipe ont mis au point un dispositif qui fait vibrer une dalle de verre en fonction de la position, de la vitesse et de la direction du doigt en contact avec elle, ce qui permet de percevoir le bon frottement au bon moment – par exemple, le doigt ne "sent" les écailles du poisson que s'il les caresse dans le bon sens!

#### LA VARIÉTÉ DES TEXTURES

Surtout, les ingénieurs ont appris à jouer avec la grande diversité des vibrations qui peuvent être générées, afin de donner l'illusion de tex-

tures très variées. L'entreprise Tanvas, quant à elle, utilise un écran électrostatique pour envoyer de petites décharges dans le doigt, qui reproduisent une gamme tout aussi large de sensations.

Mais, quelle que soit la technologie, il ne faut pas rêver: ces sensations de toucher ne seront toujours qu'une approximation de la réalité. "Même si l'avancée technologique est remarquable, il n'y a pas de miracle: le sens du toucher est tellement complexe qu'il est impossible de l'imiter dans toutes ses subtilités", tempère ainsi Philippe Fuchs,

▲ LE TACTILE DEVIENT AUSSI SENSORIEL  
En glissant de la droite vers la gauche, le doigt agit sur l'image tout en perçant les frottements caractéristiques des écailles.

→ professeur à l'Ecole des Mines et auteur du *Traité de la réalité virtuelle*.

Les ingénieurs d'HAP2U s'en accommodent, en comptant sur les autres sens et sur le cerveau des utilisateurs de l'écran pour créer l'illusion. L'idée n'est pas de restituer parfaitement le toucher physique réel, mais plutôt des groupes de sensations tactiles qui constituent une information supplémentaire sur la nature de l'objet virtuel.

### AU DOIGT ET À L'ŒIL

Comme le cerveau perçoit rarement les propriétés des objets selon une seule modalité, la combinaison des sensations tactiles, visuelles et auditives (qui s'influencent les unes les autres) donne un sentiment accru de réalité. Dans l'exemple précédent, si l'image du poisson avait été supprimée, il aurait été impossible d'imaginer des écailles à partir du seul toucher ! C'est à l'aune de cette représentation multisensorielle que de nombreuses applications peuvent déjà être envisagées (voir encadré).

Avant cela, reste à intégrer la technologie dans un vrai téléphone, ou une vraie tablette, c'est-à-dire... à la miniaturiser. HAP2U y travaille déjà. La start-up est en train

## Comment cet écran suggère des textures sous le doigt

Pour donner l'illusion d'une texture, la technologie de HAP2U joue sur l'intensité des frottements entre le doigt et la dalle de verre en la faisant onduler. Bien que la sensation de texture semble localisée sous le doigt, les vibrations qui en sont à l'origine se propagent dans l'ensemble de la dalle.

#### Dalle de verre

Cette dalle de 1 mm d'épaisseur se met à onduler sous l'action mécanique des céramiques piézoélectriques. L'amplitude de ces ondulations, elle, n'excède pas 2 micromètres.

#### Grille tactile

Elle repère la position du doigt sur l'écran. Par la suite, la vitesse et la direction du doigt sont calculées à partir de la mesure de ses positions successives.

#### Ecran LCD

Comme sur un téléphone ou une tablette traditionnels, l'affichage de l'écran est modifié en temps réel selon le comportement du doigt sur l'interface tactile.

#### Contrôleur haptique

Cette carte électronique contrôle les céramiques piézoélectriques et donc les vibrations qu'elles génèrent en fonction des déplacements du doigt sur la dalle de verre.



**“**

**CÉDRICK CHAPPAZ**  
Fondateur et manager  
d'HAP2U

*Les objets connectés à nous-mêmes déclencheront des émotions plus intenses qu'aujourd'hui*

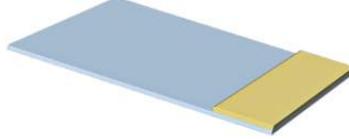
de tester des techniques de dépôt de leur céramique piézoélectrique à l'échelle du micromètre. "Nous cherchons désormais à intégrer notre dispositif piézoélectrique sur les bords de l'écran du smartphone, par exemple à côté du haut-parleur ou de l'appareil photo, ainsi qu'à confiner les vibrations dans la partie utile de la dalle en verre", détaille



Anne Munchenbach, l'un des membres de l'équipe.

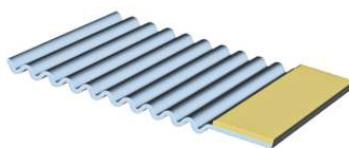
Le toucher virtuel ne restera sans doute pas bien longtemps réservé à un petit groupe de passionnés de réalité virtuelle. D'ici quelques années, il devrait être largement accessible, sans besoin de gant haptique ou de casque dédié. "Cette technologie destinée au grand public va changer notre

rappart avec le monde virtuel!" s'enthousiasme Vincent Hayward, spécialiste de la perception sensorielle et des interfaces haptiques. Ainsi, au-delà de la vision et de l'audition, la technologie d'HAP2U est sur le point d'ouvrir le monde des interfaces tactiles à une troisième dimension. Nos doigts ne serviront plus uniquement à contrôler ces interfaces : ils



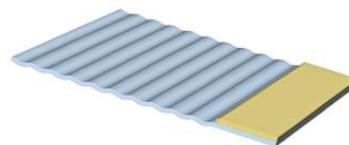
### 1. En l'absence de contact avec la dalle, rien ne se passe

Tant que le doigt n'effleure pas la dalle, celle-ci demeure immobile et plate. Les céramiques piézoélectriques sont inactives : la dalle ne fait pas de vagues...



### 2. Lorsque le doigt touche la dalle, elle vibre, donnant ainsi l'illusion de textures

Du fait des ondulations, la surface de contact entre le doigt et les aspérités du verre est réduite. Le doigt rencontre alors peu de résistance à son déplacement : la plaque semble lubrifiée, comme c'est le cas sur l'œil du poisson.



### 3. Les textures dépendent de l'amplitude des vibrations

Par exemple en réduisant l'amplitude des vibrations, le doigt glisse moins facilement sur la dalle : un frottement est ressenti. C'est ce qui se produit notamment lors du passage d'une écaille du poisson à l'autre.

## A quoi pourraient servir ces écrans sensoriels ?

Le développement des nouveaux écrans haptiques ouvre de nombreux horizons ; par exemple, pour...

**L'e-commerce**, en donnant à l'internaute la possibilité de toucher puis de comparer des produits (comme un cachemire doux et une laine plus rugueuse), ce qui pourra constituer un critère de choix au moment de l'achat.

**Les jeux** sur écran tactile, en renforçant la sensation d'immersion.

**Le contrôle d'écran sans le regard**, notamment en voiture, en permettant à l'automobiliste de régler le GPS ou le volume de la radio sans quitter la route des yeux.

**Les aveugles**, en leur procurant des plans numériques en relief à portée de main.

Sans compter les applications qui naîtront avec l'arrivée de la technologie...

contribueront à accroître l'impression de réel.

De quoi resserrer le lien, aujourd'hui encore superficiel, entre les écrans et nous. Actuellement, les objets connectés sont en effet hyperconnectés à internet ou à d'autres objets, mais restent assez distants de l'utilisateur lui-même. Cédrick Chappaz en est convaincu : "Nous sommes à l'aube de la révolution des objets connectés à nous-mêmes, car ils déclencheront des émotions plus intenses qu'aujourd'hui grâce à des sensations tactiles développées." La prochaine génération d'objets connectés arrive. Des objets plus charnels, plus fusionnels.



A voir : un lien vers le site de HAP2U ; leur prototype pourra être testé au Palais de la découverte dès octobre 2017.

science-et-vie.com



> Dans ce projet futuriste, il est prévu que les appartements se déplacent tels des drones...



IRAN ET ITALIE

# Un méga gratté-ciel flottant est à l'étude

Dans un contexte de changement climatique et de montée des eaux, cet immeuble flottant, baptisé Heal-Berg, a été pensé comme un concentré de technologies de rupture, pour atteindre l'autonomie en termes d'énergie et de transport... Son électricité viendrait ainsi d'éoliennes et de centrales osmotiques. Cette technique mise sur les différences de salinité entre des eaux douces et des eaux maritimes salées (par exemple, dans les estuaires), pour exploiter, via une turbine, l'énergie d'attraction entre les deux masses d'eau. Cet

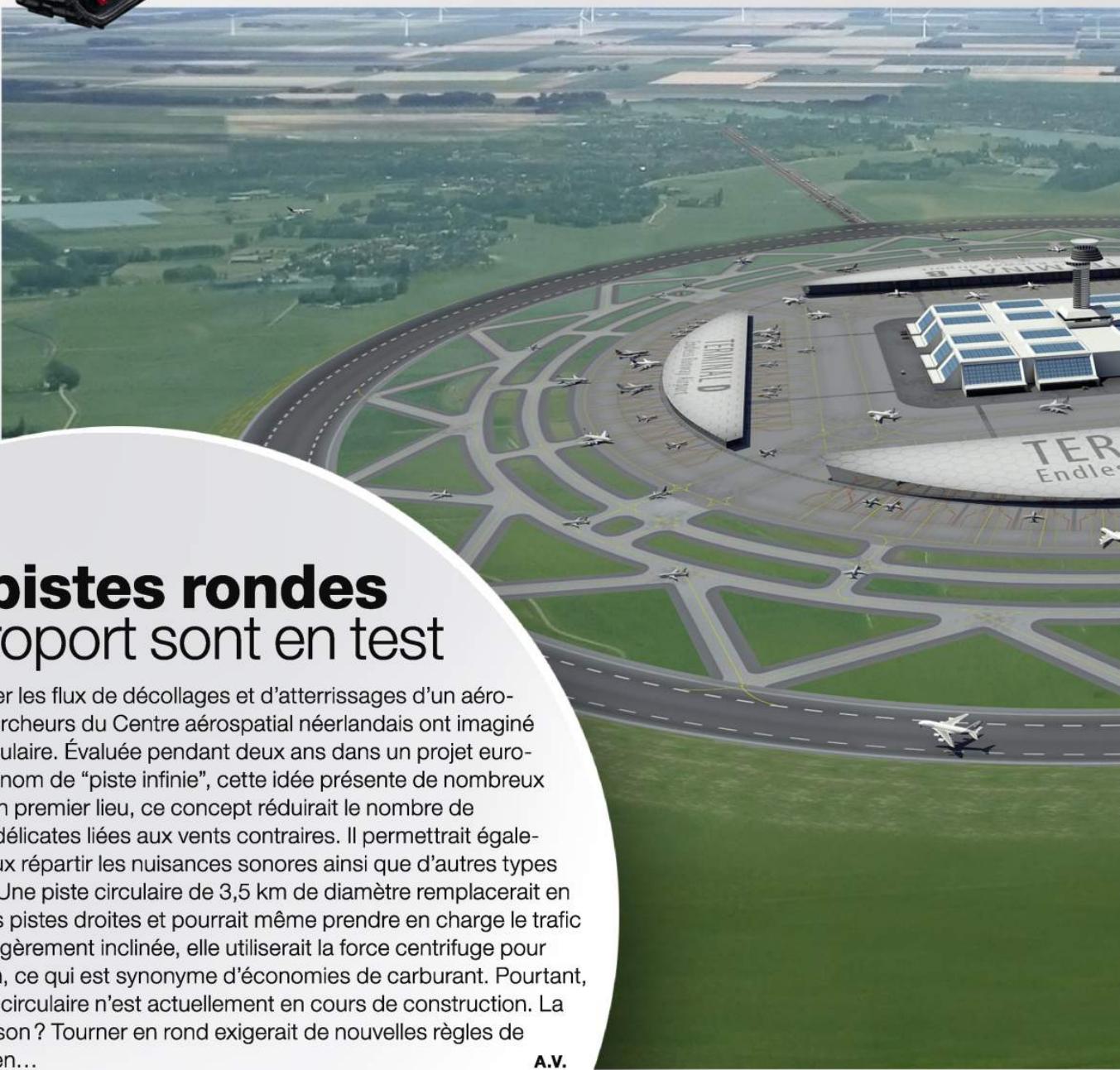
“objet flottant non identifié” serait, en outre, bâti à l'aide de structures de graphène en 3D, le fameux dérivé de carbone aussi résistant que léger. Pour ce qui est de la mobilité, les appartements consisteraient en des drones capables de se déplacer entre les différents complexes, tandis qu'un train souterrain de type Hyperloop relierait l'ensemble au continent. Pour l'instant, aucune date de réalisation n'a été fixée par les architectes italiens et iraniens de cet exercice très prospectif, mais un horizon est annoncé: 2039 ! H.L.



PARIS

## Un robot multitâche vient épauler les pompiers

Il s'appelle Colossus. Développé par la société Shark Robotics, ce robot aide les pompiers parisiens depuis quelques semaines. Il se déplace à 6 km/h avec une autonomie de 5 heures et se pilote à distance. Il peut détecter points de chaleur, fuites de gaz, départs de feux... qu'il éteint de loin. Ses deux moteurs de 4 000 W lui permettent en effet de tracter 250 m de tuyaux remplis d'eau. Il peut aussi transporter des blessés, du matériel et se déplacer dans des escaliers grâce à ses chenilles. S.F.



PAYS-BAS

## Des pistes rondes d'aéroport sont en test

Pour optimiser les flux de décollages et d'atterrissements d'un aéroport, des chercheurs du Centre aérospatial néerlandais ont imaginé une piste circulaire. Évaluée pendant deux ans dans un projet européen sous le nom de "piste infinie", cette idée présente de nombreux avantages. En premier lieu, ce concept réduirait le nombre de manœuvres délicates liées aux vents contraires. Il permettrait également de mieux répartir les nuisances sonores ainsi que d'autres types de pollution. Une piste circulaire de 3,5 km de diamètre remplacerait en longueur trois pistes droites et pourrait même prendre en charge le trafic de quatre. Légèrement inclinée, elle utiliserait la force centrifuge pour ralentir l'avion, ce qui est synonyme d'économies de carburant. Pourtant, aucune piste circulaire n'est actuellement en cours de construction. La principale raison ? Tourner en rond exigerait de nouvelles règles de contrôle aérien...

A.V.

# Pour désengorger le **trafic** un projet de **réseau souterrain** est envisagé

Creuser des tunnels pour déjouer les embouteillages en ville : c'est le défi de The Boring Company, une entreprise tout juste créée par Elon Musk – le patron aussi inventif que médiatisé de Tesla, SpaceX et Hyperloop. En cas d'engorgement, les voitures prendraient des ascenseurs en forme de places de stationnement, qui les conduiraient vers un réseau de tunnels, où elles circuleraient à 200 km/h sur des plates-formes automatisées. Problème : construire ces tunnels nécessitera d'encombrants tunneliers aux coûts faramineux. Pour lever cet obstacle, l'entreprise envisage de développer des tunneliers plus petits et plus rapides. **F.G.**



SHARK ROBOTICS - NLR - D.R.

## Idée neuve



### "ON VA POUVOIR DÉTECTER LES MINES ANTIPERSONNEL GRÂCE À DES BACTÉRIES"

*Shimshon Belkin, microbiologiste à l'Université hébraïque de Jérusalem*

Des milliers de civils sont chaque année victimes de mines antipersonnel, malgré leur interdiction depuis 1999. Le microbiologiste Shimshon Belkin a créé des bactéries capables de les détecter afin de sécuriser le déminage. *"Des traces de vapeurs explosives s'échappent des mines terrestres et s'accumulent dans le sol. C'est pourquoi des chiens sont formés pour les sentir. Nos bactéries, elles, sont génétiquement modifiées pour synthétiser une protéine fluorescente dès qu'elles 'sentent' ces vapeurs"*, explique-t-il. Après la dispersion des bactéries sur le site à sécuriser, un scanner laser repère la fluorescence et permet de cartographier l'emplacement des mines à 20 m de distance. Le site risque-t-il au passage d'être contaminé ? Le chercheur veut l'éviter : *"Nos bactéries ne présentent aucun risque pour la santé humaine ou l'environnement. Néanmoins, elles sont conçues pour ne pas proliférer et pour mourir environ 24 heures après leur libération."* Un système de précaution qui reste encore à tester. **A.V.**



## LIMOGES

## Des routes mieux éclairées grâce à la porcelaine

A Limoges, on roule sur de la porcelaine... Depuis quelques mois, le français Colas, leader mondial de la construction de routes, teste sur une zone de ralentissement de 300 m<sup>2</sup> un enrobé classique qui intègre 30 % de granulats de porcelaine issus de rebuts recyclés. Ce revêtement réfléchit mieux la lumière des phares ou de l'éclairage public et permet ainsi d'alerter sur les zones de danger mais aussi de réaliser des économies d'énergie. Un nouveau test grandeur nature est programmé cet été sur une autre portion, équipée de lampadaires à LED ; avec pour espoir d'atteindre 50 % d'économie d'énergie comparé à une route classique. E.T.-A.

## RUSSIE

## Une imprimante 3D bâtit une maison en 24 h !

Pour moins de 10 000 € et en moins de 24 heures, l'entreprise russe Apis Cor a imprimé en 3D une maison entière à Stoupino, près de Moscou. Innovante, la technique consiste à monter les murs d'un seul tenant, sur place, plutôt que d'assembler des parois pré-imprimées. Ainsi, une imprimante 3D articulée dépose des couches successives de béton formant les parois. La machine est ensuite retirée par une grue, puis sont apportés les revêtements de sol, le toit, les fenêtres et les portes. Durée de vie promise pour cette demeure : 175 ans !

F.G.

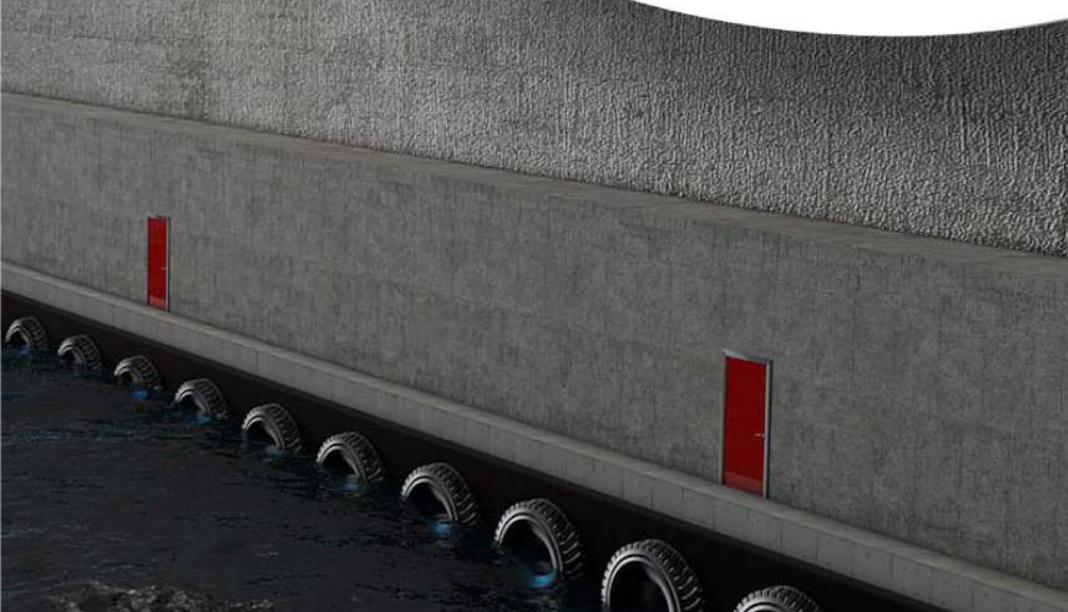
NORVÈGE

# Le premier tunnel maritime du monde va sortir de terre

La péninsule norvégienne de Stad subit 45 à 106 jours de tempête par an.

Aussi, pour y améliorer la navigabilité, un tunnel va être percé dans un relief entre deux fjords. Long de 1,7 km, large de 36 m et haut de 49 m, il nécessitera l'excavation de 3 millions de mètres cubes de roche. Il servira essentiellement au transport de marchandises et de passagers, dans des bateaux de 16 000 tonneaux de jauge brute (capacité intérieure totale) maximum, bien au-delà de la capacité autorisée sur d'autres canaux. Une vingtaine de navires pourront y circuler chaque jour, en sens alterné. La construction démarra au plus tôt en 2019.

S.F.



APPEX / NORWEGIAN COASTAL ADMINISTRATION - APIS COR

Rendez-vous en...  
**2030**

## LES ROUTES INDIENNES NE COMPTERONT PLUS QUE DES VOITURES ÉLECTRIQUES

Objectif tout électrique : faisant preuve d'une ambition remarquable, l'Inde s'est fixé de ne plus autoriser aucune voiture à essence ou diesel sur ses routes à partir de 2030, a proclamé le ministère de l'Energie, fin avril. Le but affiché est de combattre le réchauffement climatique, tout en réduisant la pollution de l'air qui afflige les mégapoles du pays – d'une pierre deux coups. Des investissements d'Etat devraient soutenir cette conversion massive, afin de faire baisser les prix à l'achat des voitures électriques. Mais le plus ardu restera sans doute d'équiper les infrastructures routières des installations de recharge nécessaires. Tout ambitieux qu'il soit, le défi de la transition vers les véhicules électriques est également relevé par d'autres pays. Les Norvégiens ont entamé le mouvement dans les années 1990 et sont à présent les champions du monde du secteur avec 135 000 voitures 100 % électriques pour 5,2 millions d'habitants. Depuis cette année, les véhicules électriques et hybrides représentent plus de 50 % des ventes. Le pays prévoit en outre de ne plus autoriser à la vente aucun véhicule émettant du CO<sub>2</sub> dès 2025. Une mesure que les Pays-Bas (114 000 voitures électriques) sont aussi en passe d'adopter à leur tour... F.G.

# Un jardin artificiel est en train d'éclore sur une autoroute abandonnée

*"Construire un jardin artificiel à plus de 15 m du sol a été un vrai défi"*, explique Ben Kuipers, architecte paysagiste néerlandais. Il aura pourtant fallu moins de deux ans à la ville de Séoul, en Corée du Sud, pour transformer une autoroute abandonnée en jardin artificiel suspendu. Cet axe, qui enjambe City Hall, l'un des quartiers les plus fréquentés de la capitale, avait été fermé en 2006 à cause de défauts structurels. Pour l'ouverture de ce nouveau jardin, le 20 mai 2017, plus de 160 espèces végétales coréennes y ont été plantées. Mais composer avec les extrêmes du climat n'a pas été simple : *"Les arbres ont été attachés au sol en raison du vent, explique Ben Kuipers. Des pots cachent les câbles. Il a aussi fallu concevoir un système pour évacuer l'eau lorsqu'il fait trop humide, apporter les nutriments nécessaires aux plantes, et aérer le terreau..."* Ben Kuipers espère que ce jardin deviendra une pépinière pour tout le reste de la ville. o.s.



# LA SCIENCE & LA VIE

106

Rythmes scolaires

## Les 4 avis scientifiques que personne ne suit

119

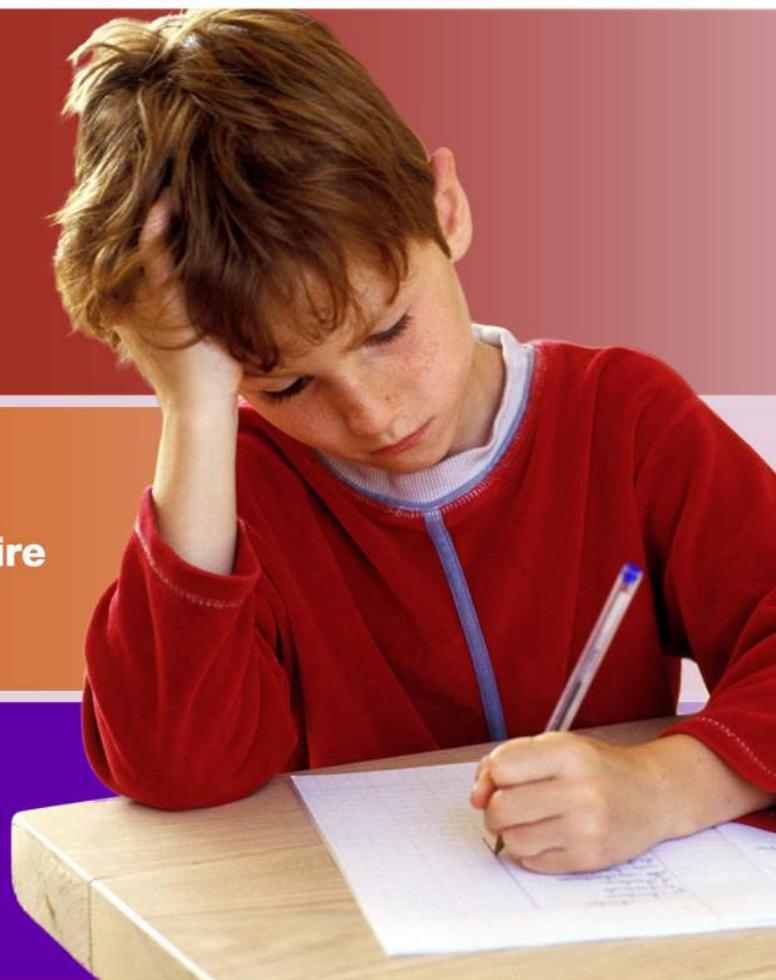
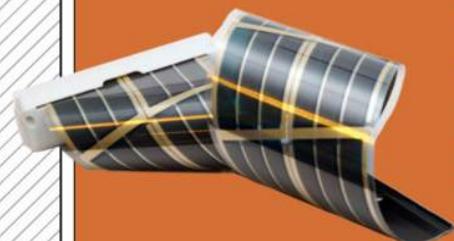
Technofolies

**Un chargeur solaire enroulable ultra-compact**

123

Questions/Réponses

**Pourquoi les ragoûts sont-ils meilleurs réchauffés ?**



**Science & société**

106

### **Aménagement des rythmes scolaires**

Les 4 avis scientifiques que personne ne suit

### **Electrosensibilité**

Un lien physiologique avec les antennes relais enfin établi ?

### **Normes de pollution au diesel**

Les dépasser provoque 38 000 décès prématurés par an

**Science & vie pratique**

114

### **Bon à savoir**

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

### **Technofolies**

Un chargeur solaire enroulable ultra-compact ; le climatiseur à emporter partout ; des écouteurs intelligents qui filtrent les bruits ambients ; un bracelet pour penser à s'hydrater ; un ampli de poche pour guitare...

**Science & culture**

120

### **Questions/Réponses**

Pourquoi les ragoûts sont-ils meilleurs réchauffés ? Peut-on acclimater un poisson d'eau douce à la mer ?...

### **A voir/A lire**

"La biodiversité comme vous ne l'avez jamais vue", à Besançon

### **Il y a... 100 ans**

Un premier drone militaire décolle en France

Aménagement des rythmes scolaires

# Les 4 avis scientifiques que personne ne suit

Parmi ses premières mesures, le président Emmanuel Macron a annoncé vouloir permettre aux communes qui le souhaitent de revenir sur la réforme des rythmes scolaires de 2013. Si cette perspective a ravi plus d'un élu, d'autres ont vu d'un mauvais œil ce "retour en arrière", jugé dommageable pour les enfants. Car tous les spécialistes ne cessent de le répéter : l'organisation du temps scolaire répond toujours plus aux exigences socio-économiques et politiques qu'aux rythmes biologiques

de l'enfant (c'est-à-dire aux fluctuations, imposées par l'horloge biologique, de son degré d'éveil, de son attention, de ses capacités cognitives ou de sa mémorisation).

La réforme Peillon a tout de même eu le mérite de tenter – pour la première fois ! – de faire en sorte que les horaires de l'école tiennent compte de ces rythmes biologiques. Mais elle a laissé de côté certains points qu'il était pourtant crucial de revoir...

Quels changements faudrait-il opérer dans les aménagements des temps scolaires pour qu'ils soient plus adaptés aux besoins des enfants ? Pour y voir plus clair, nous avons analysé différentes études sur les rythmes biologiques des enfants, et demandé l'avis de plusieurs spécialistes des rythmes biologiques et psychologiques.

## LE RAPPEL DES FAITS

Dans le cadre de la **réforme Peillon (2013)**, les écoles publiques françaises sont passées à la **semaine de 4 jours et demi** en 2014. Le président Macron a annoncé que les communes pourraient **revenir à la semaine de 4 jours**.



Une enquête sensible, car les rythmes scolaires intéressent différents lobbies, et les avis des scientifiques divergent sur certaines questions. Cependant, un consensus se dégage sur quelques points importants. Voici quatre recommandations à adopter... si l'on veut enfin tenir compte de l'intérêt des enfants.

### [1] SCOLARISER LE SAMEDI MATIN PLUTÔT QUE LE MERCREDI

Tous les scientifiques s'accordent sur le fait que la semaine de 4 jours et demi est

une meilleure option que celle de 4 jours – à laquelle pourraient revenir un certain nombre de communes en septembre 2018. Car elle permet une meilleure répartition des vingt-quatre heures scolaires obligatoires par semaine, et allège ainsi chaque journée...

Lors de la réforme de 2013, plus de 98 % des communes ont opté pour le mercredi matin, plus adapté à la société actuelle, habituée au samedi matin vaqué. Certains experts (comme le psychophysiologiste Hubert Montagner) estiment que cette option

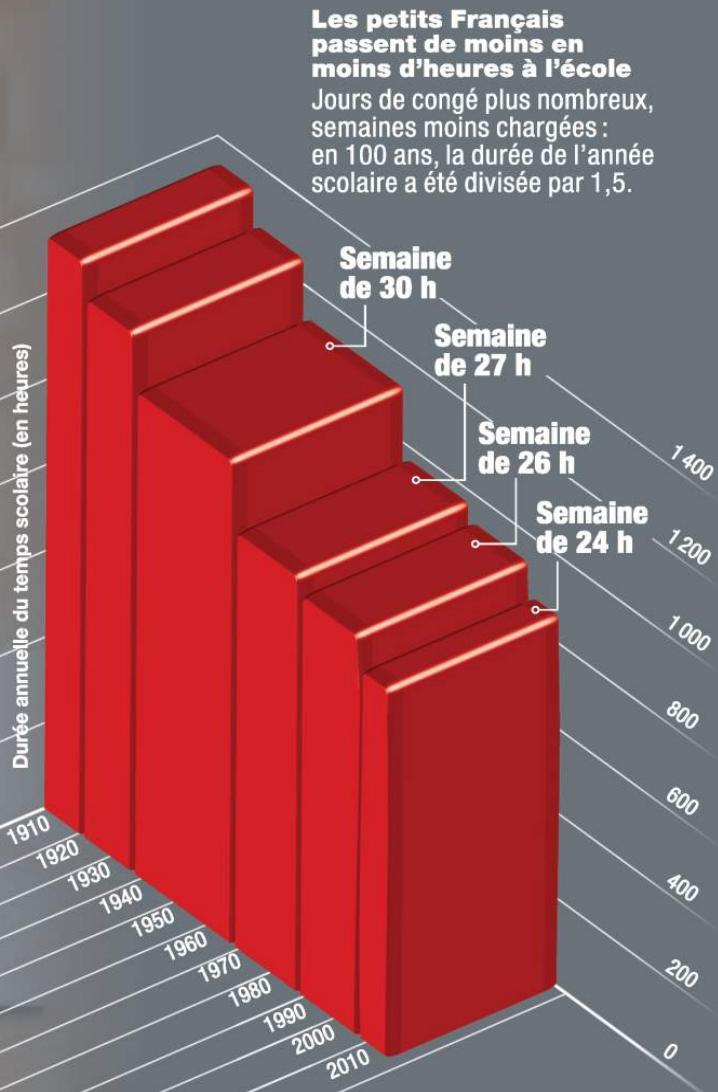
# 98 %

C'est la proportion de communes qui ont choisi le mercredi (plutôt que le samedi) travaillé dans le cadre de la semaine de 4 jours et demi.

SOURCES : B. SUCHAUT - OBSERVATOIRE DES RYTHMES ET TEMPS DE VIE DES ENFANTS ET DES JEUNES

## Des élèves plus fatigués depuis la réforme Peillon ?

Une très large majorité (82 %) d'enseignants répond par l'affirmative.



est la meilleure. Notamment parce qu'elle éviterait, selon eux, "une rupture du rythme de vie des enfants", et assurerait ainsi une continuité dans la semaine, "source de stabilité".

Or, pour de nombreux scientifiques, l'explication ne tient pas : "Si l'on suit cette logique, il faudrait aussi scolariser le samedi et le dimanche matin", raille la chronobiologiste et psychologue Claire Leconte (université Lille 3).

De fait, deux rapports scientifiques antérieurs à la réforme de 2013, l'un de l'Institut national de

la santé et de la recherche médicale (Inserm), l'autre de l'Académie de médecine, privilégiaient clairement le samedi matin. Une option encore défendue par beaucoup d'experts. Et pour cause : plusieurs travaux ont montré que le samedi matin libre favorise

l'endormissement tardif de l'enfant deux soirs de suite (vendredi et samedi), ce qui retarde d'autant son horloge biologique et le désynchronise le lundi et le mardi matin... A noter : une étude publiée en février, réalisée sur 177 élèves de 14 ans, a montré pour la première

fois que plus les couchers le week-end sont tardifs, plus le volume de matière grise cérébrale des adolescents diminue (ainsi que leurs performances scolaires).

Pour en revenir au mercredi matin, une étude menée à Arras, rendue publique en juin 2016, indique →



CLAIRE LECONTE

Chronobiologiste et psychologue  
(université Lille 3)

*Le mercredi matin scolarisé apparaît comme un choix par défaut, et non dans l'intérêt de l'enfant*

que 82 % des enseignants, 46 % des animateurs et 64 % des parents estiment que les derniers aménagements fatiguent les enfants. De son côté, le rapport de l'Inserm déjà cité indique que laisser le mercredi libre jusqu'à la fin du primaire "permet un lever spontané supplémentaire qui apparaît favorable à l'équilibre de l'enfant". Pour Claire Leconte, il ne fait aucun doute que "le mercredi matin scolarisé est un choix par défaut, et non dans l'intérêt de l'enfant"....

## [2] RETARDER L'HEURE D'ENTRÉE À L'ÉCOLE LE MATIN

La réforme de 2013 n'a rien changé sur ce point. Or, une étude canadienne publiée en 2016 a montré que 36 % des 10-18 ans qui commencent les cours à 8 h ne dorment pas assez, et 65 % se sentent fatigués. Concernant spécifiquement la France, des enquêtes ont révélé que près de 30 % des 15-19 ans sont en dette de sommeil. "A la puberté, l'horloge biologique des adolescents subit naturellement un décalage horaire de deux à trois heures. Il devient alors très difficile pour eux de s'endormir avant

## Les rythmes biologiques se jouent dans le cerveau

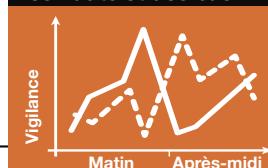
C'est dans la glande pineale (voir flèche) qu'est fabriquée la mélatonine, l'hormone qui contrôle les rythmes biologiques, dont notamment les cycles de veille et de sommeil. Chez l'enfant, le respect de ces rythmes naturels conditionne le bon déroulement des apprentissages.

SOURCES: INSERM - REVUE FRANÇAISE DE PSYCHOLOGIE - SLEEP

### 1 L'ATTENTION VARIE DANS LA JOURNÉE...

Des observations menées sur des élèves de moyenne section de maternelle (pointillés) et de CM2 (trait continu) font apparaître des décalages dans les phases d'attention. Les petits sont concentrés surtout le matin : leur vigilance chute après 14 h, sans remontée significative par la suite. Mais chez les CM2, la vigilance repart à la hausse après le creux de la pause déjeuner.

#### Des hauts et des bas

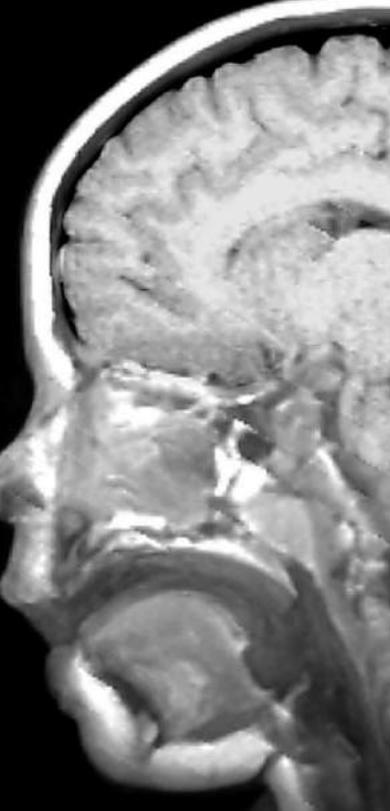


23 h, et de se lever avant 8 h, explique l'épidémiologiste Geneviève Gariépy, coauteur de ces travaux. Commencer les cours vers 9 h 30 ou 10 h serait plus compatible avec leur horloge biologique".

Une autre étude parue en février 2017, menée sur 30 000 lycéens américains, a mis en évidence, elle, que retarder d'une heure l'entrée en cours des adolescents améliore leur taux de présence à l'école et leurs chances de réussite aux examens. Ainsi, deux ans après

un démarrage différé des cours à 8 h ou 9 h, au lieu de respectivement 7 h ou 8 h, le taux moyen d'obtention du diplôme a grimpé en moyenne de 79 % à 88 %. Quant au taux de présence, il est passé de 90 % à 94 % en moyenne, voire de 68 % à 99 % dans certains établissements !

Dès 2001, un rapport de l'Inserm recommandait de retarder l'heure d'entrée en cours des adolescents... Pour les plus jeunes, il précise: "Chez les 6-7 ans, 46 % des 'grosses dormeuses



nocturnes' (11 h 17 à 12 h 13 de sommeil) et 20 % des 'petits dormeurs' ont un réveil provoqué en période scolaire". Cela dit, il n'existe pas de consensus concernant l'idée de commencer l'école plus tard aussi en maternelle et en primaire. "Contrairement aux adolescents, les jeunes enfants sont plutôt du matin et se lèvent naturellement tôt. Chez eux, le problème vient surtout de couchers trop tardifs", tempère Claire Leconte.

DU CANE MEDICAL IMAGING LTD/SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS - C. CHIGOT/DIVERGENCE POUR LE PARISIEN MAGAZINE

## [3] ALLÉGER LA JOURNÉE SCOLAIRE

En ajoutant une demi-journée d'école, la réforme de 2013 visait justement à alléger la journée scolaire (5 h 30 par jour au plus, contre 6 h auparavant). Mais lorsqu'on ajoute à ce temps



FRANÇOIS TESTU

Psychologue (Université François-Rabelais de Tours)

*L'allègement de la journée de travail doit se faire de manière différenciée, selon l'âge des enfants*



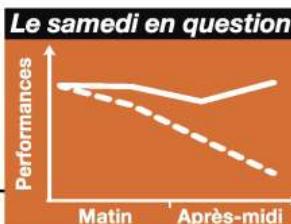
### 3 ET AU COURS DE L'ANNÉE

Une étude menée sur des enfants de 7 ans montre qu'ils dorment en moyenne 41 minutes de plus en hiver qu'en été. La mélatonine, hormone de l'endormissement, agit plus tôt en hiver car la nuit tombe plus vite. Pour tenir compte de cette saisonnalité, les spécialistes préconisent de raccourcir les congés d'été au profit de ceux d'hiver.



### 2 TOUT AU LONG DE LA SEMAINE...

Les performances des élèves décroissent plus vite au cours de la journée du lundi s'ils ont eu deux jours de week-end (pointillés), par rapport à ceux ayant eu classe le samedi matin (trait continu). Moralité ? Un week-end plus court, c'est moins de fatigue le lundi.



scolaire les heures d'activités périscolaires et de garde – nécessaires pour beaucoup d'enfants dont les parents travaillent –, le temps de présence des enfants à l'école pouvait atteindre huit à dix heures.

Or, concernant les apprentissages scolaires mêmes, plusieurs études ont montré que les enfants ne peuvent rester concentrés plus de quatre à six heures par jour, selon l'âge. En 2005, François Testu et Baptiste Janvier (université François-Rabelais de Tours) ont observé 30 élèves de maternelle (4-5 ans), 60 de CP (6-7 ans), et 80 de CM2 (10-11 ans). Résultat ? Tous âges confondus, le niveau de vigilance augmente au fil de la matinée – surtout entre 9 h 50 et 10 h 20. Ensuite, tout dépend de l'âge. La vigilance des 4-5 ans

augmente lors de la pause déjeuner, entre 11 h 20 et 13 h 50, puis diminue l'après-midi. Chez les primaires, la vigilance diminue à la pause déjeuner, avant d'augmenter à nouveau en deuxième partie d'après-midi, de façon plus légère chez les CP que chez les CM2. Grosso modo, les plus jeunes sont réceptifs surtout en matinée, soit pas plus de trois heures ; les plus grands, le matin et en deuxième partie d'après-midi, soit environ six

heures. «Ces données suggèrent qu'il faut alléger la journée de travail scolaire différemment selon l'âge», conclut François Testu.

### 4 REVOIR LE DÉCOUPAGE DES VACANCES

La réforme Peillon n'avait apporté aucun changement à ce niveau. Pourtant, alors que les chronobiologistes recommandent en général 7 semaines d'école, suivies de 2 semaines de repos, les élèves de la zone C, par exemple, n'ont eu cette année que 32 jours de classe entre les vacances de Noël et d'hiver, mais ont dû se lever tôt 11,5 semaines d'affilée entre les vacances de Pâques et d'été...

Concernant ces dernières – dont la durée de 2 mois fut décidée en 1939 pour que les enfants puissent aider aux travaux agricoles... –,

“il serait judicieux de les écourter afin d'allonger les congés d'hiver. Car alors, les enfants ont besoin de plus de sommeil”, explique Jacques Taillard, neurobiologiste spécialiste des rythmes biologiques (CNRS, Bordeaux). En effet, “la tombée de la nuit, plus précoce en hiver, induit une sécrétion plus tôt de l'hormone de l'endormissement, la mélatonine”.

Réduire les vacances d'été permettrait également d'avoir plus de jours scolarisés et d'alléger la journée scolaire. Enfin, “cela diminuerait les inégalités de réussite entre les enfants de milieux défavorisés et les autres, qui ont, eux, les moyens de pratiquer des activités scolaires l'été”, indique Bruno Suchaut, chercheur en sciences de l'éducation à l'université de Lausanne. Lors d'une étude menée sur 257 collégiens français, le chercheur a en effet observé qu'à l'issue des vacances d'été, les plus favorisés amélioraient leurs performances de 0,5 point sur 20, en moyenne.

Kheira Bettayeb

**Pour aller plus loin :**  
[www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)

## Respecter les rythmes... à la maison aussi !

“Rien ne sert d'adapter les horaires scolaires aux rythmes biologiques des enfants s'ils ne sont pas respectés à la maison. Et là, cela relève des parents”, insiste Jacques Taillard. Les conseils des experts sont connus : information de l'enfant sur le rôle du sommeil pour sa santé, horaires de lever et de coucher réguliers, restriction des écrans... “Un coucher tardif n'est pas totalement compensé par un lever tardif, car la qualité du sommeil n'est pas aussi bonne en matinée qu'en début de nuit, ajoute Claire Leconte. En cas de coucher tardif, préférez une sieste lors du creux de vigilance, après le déjeuner.”

## Electrosensibilité

# Un lien physiologique avec les antennes relais enfin établi ?

Pour les 1 à 2 % de Français se déclarant électrosensibles, pas de doute : les maux de tête, troubles du sommeil et autres symptômes dont ils souffrent proviennent des ondes électromagnétiques émises par les antennes relais de la téléphonie mobile. Mais à ce jour, aucune étude scientifique rigoureuse n'a pu prouver un tel lien de causalité. Pis, des expériences sur des volontaires

ont montré qu'ils ne pouvaient même pas discerner les positions "allumée" ou "éteinte" d'appareils émetteurs d'ondes.

Pourtant, les plaintes sont prises au sérieux, la recherche continue et l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) doit remettre un nouvel avis sur la question. C'est dans ce contexte qu'une étude aux résultats troublants a été présentée en mai...

Pelletier, de l'université de Picardie-Jules-Verne/Ineris, qui tient à rester prudente : "Ce sont des travaux préliminaires qu'il faudra répliquer."

Il s'agit pourtant d'une des premières études menées par une équipe expérimentée suggérant que l'EHS pourrait avoir un lien physiologique avec les ondes des antennes relais. Elle représente un virage inattendu dans la recherche sur ce sujet. Amandine Pelletier a d'ailleurs été convoquée à l'Anses pour présenter ses travaux au groupe d'experts qui prépare un nouveau rapport imminent sur l'EHS...

## LE RAPPEL DES FAITS

**La réalité de l'électrosensibilité** reste très débattue. Pour beaucoup d'experts, elle est **sans lien avec les ondes émises par les antennes relais**, et a une **origine psychosomatique**. L'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) doit rendre un nouvel avis.



## 14 %

C'est la proportion de Français de plus de 18 ans qui sont tatoués. Face à ce chiffre en hausse, une consultation spécialisée vient d'ouvrir à l'hôpital Bichat-Claude-Bernard, à Paris, pour informer et soigner les patients tatoués en cas d'allergie ou d'infection. M.V.

## 30 000

C'est le nombre de faux comptes Facebook français désactivés durant la campagne présidentielle. Pour les traquer, le réseau repère les profils qui essaient trop souvent des refus à leurs demandes d'amis, ou publient des posts répétitifs ou trop longs. G.D.



C'EST UNE  
PREMIÈRE



Ce n'est pas la première fois qu'une étude montre que l'organisme humain peut percevoir les ondes électromagnétiques. En 2013, une équipe hongroise avait observé, chez 29 personnes EHS, une perception statistiquement meilleure de ces ondes. Mais "ces travaux concernaient les ondes émises par les lignes à haute tension, d'une fréquence de 50 hertz (Hz). Or, 70 % des EHS attribuent leurs symptômes aux ondes des antennes relais, dites radiofréquences, incluant la fréquence de 900 MHz", recadre Amandine Pelletier. *Notre étude, elle, porte bien sur ces ondes-là.*"

Concrètement, les chercheurs ont laissé, pendant quatre jours d'affilée, la possibilité à 17 rats de choisir entre une cage exposée à des radiofréquences et une autre, non exposée.

Résultat : le jour – période où le rat est plus vulnérable parce qu'il dort –, les animaux préféraient l'enceinte non exposée où ils passaient 56 % de leur temps. D'où l'idée qu'il "pourrait y avoir un lien entre ce type d'exposition et les symptômes et désagréments ressentis par les personnes qui se disent atteintes d'EHS".

*"Cette étude est très intéressante, commente un grand expert dans ce domaine, qui souhaite rester anonyme. Les résultats préliminaires ouvrent des perspectives nouvelles dans l'étude des effets biologiques à long terme des radiofréquences standard. Ils encouragent à poursuivre les recherches dans cette direction."* A Amiens, d'autres travaux sont déjà planifiés dans ce sens.

Kheira Bettayeb



AMANDINE  
PELLETIER

Physio-  
logiste à  
l'université  
de Picardie-  
Jules-Verne

*Nos travaux  
menés sur des rats  
montrent qu'ils  
perçoivent bien les  
ondes émises par  
les antennes relais*

# 7 000

C'est, selon l'association Cyclamed, le nombre de foyers qui ont été chauffés et éclairés en 2016 grâce à l'incinération de 12 000 tonnes de médicaments non utilisés, contribuant ainsi à limiter la pollution des eaux et des décharges.

G.D.



## La trisomie 21 sera bientôt dépistée très efficacement par une prise de sang

Un décret publié le 7 mai autorise la pratique d'une nouvelle technique très précise de dépistage de la trisomie 21 par simple prise de sang. L'analyse des fragments de l'ADN du fœtus circulant dans le sang de la mère (voir S&V n°1139) devrait bientôt être proposée gratuitement dès que les tests classiques (échographie, etc.) suggèrent un risque de trisomie 21 supérieur à 0,1 %.

Jusqu'à présent, les femmes dont le risque dépassait 0,4 % se voyaient proposer une amniocentèse (ponction de liquide amniotique) ou une choriocentèse (prélèvement de chorion, le futur placenta). Ces techniques, très précises, ne disparaîtront pas, mais seront désormais proposées uniquement pour un risque supérieur à 2 %, ou si la nouvelle analyse de l'ADN sanguin donne un résultat positif. Ce qui devrait permettre de diviser par quatre le recours à ces examens invasifs, et donc de diminuer le nombre de fausses couches qu'ils provoquent dans 0,1 à 1 % des cas. Et ce, tout en augmentant le nombre de cas détectés de 15 %.

L'analyse de l'ADN du fœtus dans le sang de la mère pourrait à l'avenir révolutionner le dépistage prénatal de nombreuses autres maladies. Mais son usage pour la trisomie 21 suscite déjà le débat, certaines associations reprochant à cette technique de favoriser l'eugénisme. En effet, l'augmentation du nombre de cas détectés entraînera très probablement une multiplication des recours aux interruptions médicales de grossesse en cas de fœtus atteint.

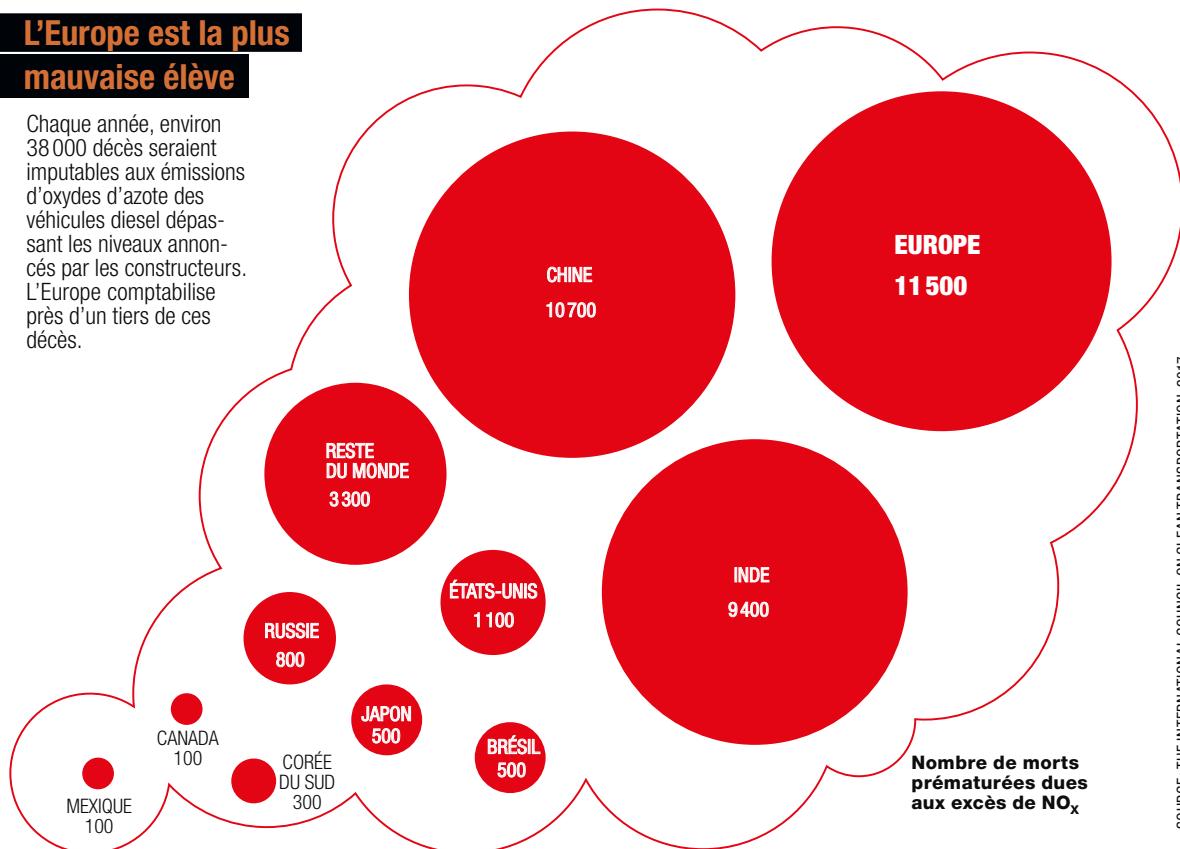
Elsa Abdoun

## Pollution des véhicules diesel

# Dépasser les normes provoque 38 000 décès prématurés par an

### L'Europe est la plus mauvaise élève

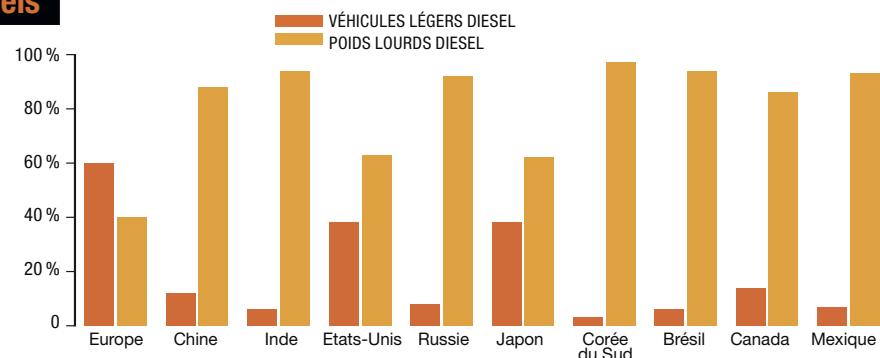
Chaque année, environ 38 000 décès seraient imputables aux émissions d'oxydes d'azote des véhicules diesel dépassant les niveaux annoncés par les constructeurs. L'Europe comptabilise près d'un tiers de ces décès.



SOURCE : THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION, 2017

### La faute, chez nous, aux véhicules individuels

En Europe, ce sont les véhicules légers qui contribuent le plus (60%) aux excès d'émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Au niveau mondial, ce sont les poids lourds qui émettent la plus grosse part (76%) des 4,6 millions de tonnes émises au-delà des limites certifiées.



# Abonnez-vous à SCIENCE&VIE

## et recevez le casque SONY !



12 n°



6 HS

Ce casque léger associe un excellent confort à un grand plaisir d'écoute !

**Son plus :** il se plie grâce à ses écouteurs pivotants et s'emporte ainsi partout avec vous.

Diaphragme de 30 mm / Arceau ajustable  
Réponse en fréquences : 12 - 22 000 Hz / Sensibilité : 98 dB  
Impédance : 24 ohms / Cordon bilatéral de 1,2 m.



Sans engagement

**4€99**  
seulement  
au lieu de ~~9€82\*~~

1 an - 12 numéros  
+ 6 hors-séries  
+ le casque SONY

**49%**  
de réduction

### Les avantages du prélèvement

✓ Gagnez en sérénité ✓ Réglez en douceur ✓ Stoppez quand vous voulez



Abonnez-vous sur  
[KiosqueMag.com](#)

**BULLETIN D'ABONNEMENT** à retourner sous enveloppe affranchie à : Service abonnements Science&Vie - CS 90125 - 27091 Evreux Cedex 9

SV 198

#### 1 - Je choisis mon offre d'abonnement :

**>>> La meilleure offre : -49%**

**L'offre Sérénité :** 4,99€ par mois au lieu de 9,82€\* sans engagement de durée + le casque SONY.

Je reçois chaque mois mon magazine et 6 hors-séries par an. Ce tarif préférentiel est garanti pendant 1 an minimum. J'ai la possibilité de suspendre mon abonnement à tout moment. Je remplis le mandat de prélèvement SEPA ci-dessous auquel je joins un RIB.

#### 2 - J'indique mes coordonnées :

Nom/Prenom :

Adresse :

CP :  Ville :

Tél. :

Votre email est indispensable pour créer votre accès à l'abonnement numérique sur notre site [kiosquemag.com](#)

Email :

J'accepte d'être informé(e) par email des offres commerciales du groupe Mondadori France et de celles de ses partenaires.

#### 3 - Je choisis mon mode de paiement :

**prélèvement automatique :** je remplis l'IBAN et le BIC présent sur 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 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. Créditeur : MONDADORI MAGAZINES FRANCE - 8, rue François Ory - 92543 Montrouge Cedex 09 - France - Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

**chèque bancaire** à l'ordre de Science&Vie

CB :  Expire fin :  /  Cryptogramme :

\* Prix de vente en kiosque. Offre valable en France métropolitaine jusqu'au 30/09/2017. Je peux acquérir séparément chacun des numéros de Science&Vie au prix de 4,50€, chacun des hors-séries pour 5,50€ et chacune des Éditions spéciales au prix de 5,95€ frais de port non inclus. Votre abonnement et votre casque vous seront adressés dans un délai de 4 semaines après réception de votre règlement. Vous disposez d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine et de votre casque 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. J'accepte que mes données soient cédées à des tiers en cochant la case ci-contre :

Dater et signer obligatoirement :

À :

Date :  /  /

Signature :

## **SAUF INTOLÉRANCE, LE "ZÉRO GLUTEN" NE SE JUSTIFIE PAS**

Les personnes non intolérantes au gluten (98,5% de la population) gagneraient, selon une étude anglaise, à continuer de manger les céréales qui en contiennent (blé, orge, seigle et avoine). Car moins de gluten veut dire moins de céréales complètes... qui protègent le cœur! "Brit. Med. Journ.", mai 2017



## **LE CAFÉ À L'ITALIENNE PRÉVIENT LE CANCER DE LA PROSTATE**

Le suivi de 7000 Italiens de plus de 50 ans durant quatre ans a mis en évidence l'effet préventif du café sur le cancer de la prostate. Mais pour bénéficier de ses vertus, il faut préparer le café sans filtre et sous pression! "Int. Journ. of Cancer", avril 2017

## **LA POLLUTION DE L'AIR AFFECTE AUSSI LE SOMMEIL**

Selon une étude américaine, les sujets les plus exposés à la pollution ont 50 à 60% plus de chances d'avoir un faible indice d'efficience du sommeil (le temps de sommeil effectif par rapport au temps total passé au lit). "Congrès de l'Am. Thor. Soc.", mai 2017

# **SOURIRE NE FAIT PAS PARAÎTRE PLUS JEUNE**

Contrairement aux idées reçues, un visage souriant est jugé plus âgé qu'avec une expression neutre. Priés d'évaluer l'âge de jeunes gens à partir de photos, les 40 volontaires d'une étude menée à l'université Ben-Gurion (Israël) attribuaient systématiquement un an de plus en moyenne aux visages souriants. Cela s'explique, selon les auteurs, par la présence de rides autour des yeux. A l'inverse, des visages étonnés étaient jugés plus jeunes, car la surprise étire les muscles de la figure, effaçant les rides. Reste qu'après l'expérience, les participants demeuraient globalement convaincus que sourire fait paraître plus jeune... même en ayant constaté le contraire! "Psych. Bull. & Rev.", mai 2017

## **RECEVOIR OU DONNER UN MASSAGE PROCURERAIT LE MÊME BIEN-ÊTRE**

Pas besoin d'un spécialiste pour profiter des bienfaits des massages. Selon les conseils d'une étude britannique, se masser entre partenaires améliore significativement le bien-être et réduit le stress... Mieux: cela fonctionne que l'on soit l'acteur ou le bénéficiaire du massage! Les 38 participants à cette étude ont suivi, en couple, un cours de massage d'une durée de trois semaines. A l'issue de la formation, les trois quarts d'entre eux ont poursuivi la pratique des massages mutuels. Et trois semaines après la fin du suivi, les effets positifs demeuraient intacts. Une bonne manière de préserver la santé... et la relation de couple. "Congrès de la Brit. Psych. Soc.", mai 2017



SHUTTERSTOCK - MEYER/TENDANCE FLOUE - N.FAGO/LIGHT MOTIV



## POUR MAIGRIR, IL SUFFIT DE SE PRIVER UN JOUR SUR DEUX

Une méthode pour perdre du poids testée avec succès aux Etats-Unis consiste à alterner des jours de quasi-jeûne et des jours d'abondance. Pendant six mois, 34 personnes obèses (95 kg, IMC 34) ont consommé, un jour sur deux, un déjeuner léger pour seul repas, soit 25 % de l'apport calorique journalier recommandé. Le jour suivant, elles satisfaisaient leur appétit par trois repas copieux (soit 125 % de l'apport normal). En parallèle, un autre groupe de patients obèses suivait un régime classique, où l'apport calorique était réduit à 75 % tous les jours. Résultat: six mois après la fin de ces régimes, les deux groupes avaient perdu respectivement 6 % et 5 % de leur poids initial (5,7 kg et 5 kg). D'après les auteurs de l'étude, ce jeûne en alternance pourrait mieux convenir à certains patients qui ont du mal à suivre un régime tous les jours. "JAMA Intern. Medic.", mai 2017

### LE CANNABIS DÉTOURNE LES JEUNES DES ÉTUDES

Les jeunes qui se sont mis à consommer du cannabis avant 17 ans ont un risque 1,6 fois plus élevé de ne pas dépasser le baccalauréat, selon une étude française menée sur plus de 1 000 participants. "Intern. Journ. of Epidemiology", mai 2017

### L'ALCOOL N'EST JAMAIS "BON POUR LA SANTÉ"

Une nouvelle analyse passant en revue plus de 45 études sur le sujet confirme que même en quantité modérée (un verre de vin par jour), l'alcool n'a aucun bénéfice. L'étude ne conclut cependant pas à un risque supplémentaire. "Journ. of Stud. on Alc. and Drugs", mai 2017

### JURER PENDANT L'EFFORT NOUS REND PLUS FORTS

D'après une expérience menée par des psychologues anglais, les résultats aux tests d'effort (sprint à vélo, contraction des bras) sont meilleurs lorsque les participants ont pu proférer des jurons de leur choix. "Conférence de la British Psychological Society", mai 2017

## BOSSEZ SON FRANÇAIS FAVORISE LA RÉUSSITE

Pour optimiser leurs chances de succès aux examens, les étudiants devraient réviser, certes, mais également améliorer leur maîtrise de la langue française écrite. Selon une étude menée dans les universités Paris-Est-Marne-la-Vallée et Lille 1, les étudiants ayant été encouragés à utiliser un logiciel de perfectionnement en orthographe, grammaire et conjugaison auraient obtenu une moyenne générale supérieure de 0,5 à 1 point à celle des autres étudiants. Et le bénéfice était encore plus important pour ceux dont les compétences en expression écrite étaient les plus faibles au début de l'expérience. "Travail, emploi et politiques publiques", mars 2017

m	mou	mouche	moule	moutarde	mouton
t	tou	tout	toutou		
p	pou	poulain	poussin	pourtant	poulet
r	rou	rouge	rouler	tour	rester
s	sou	souris	souligner	se servir	se soulever
l	lou	loup	loupe	louer	louer
c	cou	coucou	couver	chercher	coucher

# Le climatiseur à emporter partout

Encombrants, lourds, chers et reliés à une prise électrique : les climatiseurs mobiles sont en général peu adaptés à un usage nomade. Avec sa batterie lithium-ion de 516 Wh qui se recharge sur une prise secteur ou un allume-cigare, le climatiseur portable Zero Breeze propose une solution légère, efficace et silencieuse (48 dB). Son secret ? Un compresseur rotatif de très petite taille, qui lui confère un poids total de 6,35 kg, contre au moins

9,5 kg pour les appareils concurrents. D'après son concepteur, Zero Breeze est capable de fournir de l'air frais pendant un maximum de 5 heures, mais sa capacité de réfrigération modeste (330 W) le réserve à des endroits dont la surface est inférieure à 5 m<sup>2</sup>, ou à un fonctionnement à proximité immédiate de l'utilisateur.

Il est livré avec une gaine pour évacuer vers l'arrière l'air chaud dissipé par le condensateur, lorsque le climatiseur est

utilisé dans une pièce ou une tente, et non pas en plein air.

Zero Breeze embarque également un haut-parleur Bluetooth de 3 W, une lampe à LED de 250 lumens, et il permet de recharger deux smartphones grâce aux deux ports USB intégrés. Un vrai couteau suisse high-tech pour pique-niqueurs connectés.

B.P.

Prix : env. 400 €  
Rens. : [www.zero-breeze.com](http://www.zero-breeze.com)

## Un bracelet pour penser à s'hydrater

L'eau est un composant indispensable à la vie, mais aussi à la performance sportive. Grâce à une technologie reposant sur le proche infrarouge, qui permet d'accéder aux tissus en profondeur – contrairement à la lumière verte utilisée dans la plupart des capteurs biométriques –, le bracelet LVL, de l'américain BSX, mesure non seulement les paramètres cardiaques mais également le niveau d'hydratation de son porteur. Il vous signale en temps réel la quantité d'eau à absorber pour éviter la déshydratation. De quoi assurer de bonnes conditions à la pratique sportive et à la récupération.

A.V.

> Destiné aux sportifs, le LVL mesure le niveau d'hydratation et les paramètres cardiaques.



▲ Avec ses 6,35 kg et son autonomie de 5 heures, le Zero Breeze vous assurera de l'air frais en toute circonstance.



Prix : env. 150 € (livraison : août 2017)  
Rens. : [www.onelvl.com](http://www.onelvl.com)



## La bouteille qui se compacte et se réutilise à l'envi

La Skyhyi est une bouteille compactable et décompactable sans effort et à volonté imaginée par la société américaine éponyme. Constituée de silicone, elle est durable, souple, résistante aux chocs. Mais, surtout, sa contenance passant de 50 cl (22 cm de hauteur) à 25 cl (14 cm) une fois repliée, elle se range facilement dans un

sac. Elle peut tout aussi bien contenir des liquides froids ou chauds, se placer au congélateur et même passer au lave-vaisselle.

S.F.

Prix: 30 €

Rens.: [www.skyhyi.com](http://www.skyhyi.com)

> La gourde nouvelle génération est encore plus pratique puisqu'elle varie en hauteur (et donc en contenance), de 14 cm à 22 cm.

## LE COIN DES PROTOTYPES

### La carte de crédit activée par empreinte digitale

Après le paiement sans contact, Mastercard expérimente un nouveau moyen, bien plus sécurisé: le paiement biométrique. Concrètement, il suffit de glisser la nouvelle carte dans un terminal classique et de poser le doigt sur un capteur intégré à celle-ci pour qu'elle identifie l'utilisateur et autorise la transaction. Ainsi la carte ne quitte jamais la main de son propriétaire, qui s'affranchit au passage de l'utilisation d'un code secret. Le but est avant tout de rassurer les nombreux usagers qui se méfient encore du paiement sans contact. Si la possibilité de falsifier des empreintes digitales existe (voir S&V n°1195), ce moyen limite tout de même les risques de fraude en cas de vol de la carte. La technologie est actuellement testée en Afrique du Sud, en Europe et en Asie.

S.D.

Rens.: [www.mastercard.com](http://www.mastercard.com)



## Un ampli de poche pour guitare

La société américaine Fluid Audio propose le Strum Buddy, un amplificateur sphérique ultracompact (7x4 cm) de 6 watts qui se fixe sur la guitare à l'aide d'une ventouse. Relié à la sortie jack, il amplifie le son grâce à un transducteur de 40 mm. Il peut aussi



générer des effets de distorsion, de chorus et de réverbération. Sa batterie lithium-ion se recharge pour une durée d'utilisation de trois heures trente. S.F.

Prix : env. 70 €  
Rens. : [www.fluidaudio.net](http://www.fluidaudio.net)

## Des écouteurs filtrent les bruits

Les Here One, de la société américaine Doppler Labs, sont de petits écouteurs Bluetooth qui peuvent filtrer en temps réel les bruits que l'on souhaite entendre (ou pas) en plus de sa musique. Ce choix se fait à partir d'une application dédiée sur smartphone. Les écouteurs analysent ensuite les ondes sonores qui entrent dans vos oreilles et modulent le son de votre musique pour



## Le premier jet-ski non polluant et totalement silencieux

Gratis X1, de la société américaine Free Form, est le premier jet-ski 100% électrique. Son moteur à aimants (refroidi passivement par l'air), fabriqué par Zero Motorcycles, spécialiste des deux-roues électriques, est totalement silencieux. Avec sa puissance de 46 che-

vaux, il permet à ce jet-ski "à bras" (piloté debout, contrairement aux modèles "à selle") d'atteindre 74 km/h, avec des accélérations rapides, caractéristiques de la propulsion

électrique. Constitué d'un matériau polymère composite recyclable – quatre fois plus résistant que la

fibre de verre, selon son fabricant – Gratis X1 (qui ne porte pas très bien son nom...) ne pèse que 172 kg. Ses batteries lithium-ion de 6,5 kW/h lui procurent une autonomie de 45 minutes à une heure (avec un pack additionnel) et se rechargent en trois à quatre heures.



# intelligents qui ambiants

rue ou de la télé, tout en laissant partiellement passer les annonces ou la sonnette de la porte d'entrée. Les Here One ont une autonomie de deux heures, mais leur boîtier contient

une batterie permettant trois charges supplémentaires.

S.F.

Prix: 300 €  
Rens.: <https://hereplus.me>

✓ Si l'on souhaite couper les bruits de la rue mais pouvoir entendre la sonnette de l'entrée, c'est possible !



Une application smartphone dédiée permet de voir toutes les données concernant le jet-ski et de consulter l'historique de son utilisation.

S.F.

Prix: env. 17 000 €

Rens.: <http://ridefreeform.com>

✓ Son secret: un moteur électrique à aimants, d'une puissance de 46 chevaux, pour des pointes à 74 km/h.



# Le boîtier qui assainit l'air en voiture

Lors des longs trajets en voiture, nous respirons les pollens et polluants enfermés dans l'habitacle. Et l'air n'est pas toujours plus sain dehors. Philips propose donc la gamme GoPure, des boîtiers purificateurs

d'air à brancher sur l'allume-cigarette. Avec leur filtre (remplaçable) à trois couches, ils assurent retenir 99 % des allergènes, particules fines, substances toxiques, composés organiques volatils et même virus et fumées. Ils fonctionnent sur commande, ou automatiquement trois fois par heure.

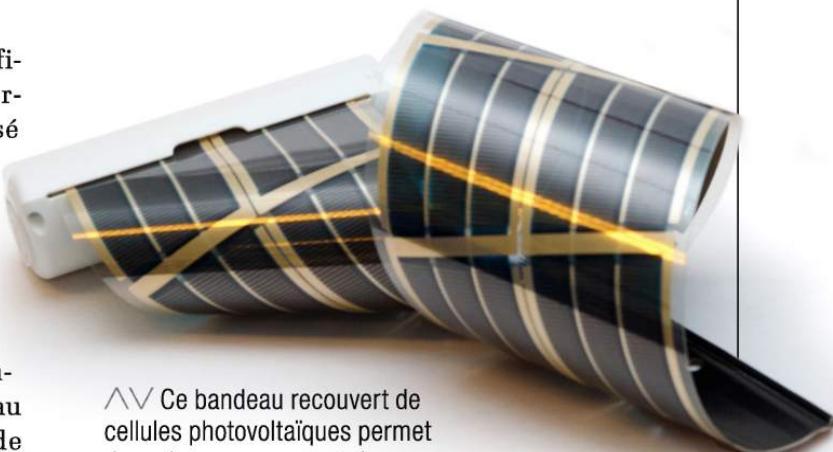
A.V.



Prix: env. 200 €. Rens.: [www.philips.fr/c-m-au/eclairage-automobile/go-pure](http://www.philips.fr/c-m-au/eclairage-automobile/go-pure)

# Un chargeur solaire enroulable ultra-compact

La marque danoise InfinityPV lance un chargeur innovant baptisé HeLi-on: il se compose d'une batterie de 2 600 mAh logée dans un cylindre compact (11 cm de longueur) et léger (105 g), qui intègre aussi un bandeau flexible recouvert de cellules photovoltaïques organiques à base de polymères. Déroulable, il mesure moins de 1 mm d'épaisseur et peut générer jusqu'à 3 W de puissance. De quoi recharger un smartphone en deux à trois heures. Si le so-



✓ Ce bandeau recouvert de cellules photovoltaïques permet de recharger son smartphone.



leil fait défaut, il est également possible d'utiliser l'énergie stockée dans la batterie intégrée, rechargeable via le bandeau solaire ou le port USB. B.P.

Prix: env. 90 €  
Rens.: [https://infinitypv.com](http://infinitypv.com)

# Quel est l'objet le plus lointain connu ?

**Question de Thomas Choquette, internet**

Tout dépend de ce que l'on entend par "objet" ! "Si l'on parle d'une étoile unique, le télescope Hubble parvient à distinguer les étoiles les plus lumineuses situées jusqu'à l'amas de la Vierge, à environ 50 millions d'années-lumière", indique Michel Dennefeld, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Seulement ! Car l'Univers s'étend sur... 45 milliards d'années-lumière (al). Mais *Hubble* voit en fait beaucoup plus loin : s'il ne distingue plus, alors, les étoiles une à une, il capte les amas. "Les premiers astres lointains que l'on a pu voir sont les quasars, des noyaux de galaxies. Ils sont extrêmement énergétiques, et donc très lumineux, car

leur centre est constitué d'un trou noir alimenté en énergie par les étoiles qui tombent dedans", explique Michel Dennefeld.

## LA GALAXIE GN-Z11

Longtemps le quasar ULAS J1120+0641 a été l'astre le plus lointain jamais détecté : lorsqu'il a émis sa lumière, il était situé à 12,9 milliards al. Ce qui veut dire que ce noyau galactique émettait de la lumière il y a 12,9 milliards d'années, soit 800 millions d'années seulement après le big bang – en astronomie, qui regarde loin remonte le temps.

Mais ce record est aujourd'hui battu par deux autres objets. Le premier est un sursaut gamma, un phé-

nomène aussi lumineux que bref généré par l'explosion d'une étoile massive ; détecté en 2009 et nommé GRB 090423, il a eu lieu dans la constellation du Lion, à 13 milliards al de la Terre. Et le second est une simple galaxie, GN-z11, découverte en 2016. Lorsqu'elle a émis sa lumière, elle gravitait à 13,3 milliards al. "Gravait", car à mesure que la lumière de ces trois astres voyageait vers nous, l'Univers s'étendait. La galaxie qui abritait le quasar ULAS J1120+0641 (aujourd'hui éteint), le lieu de l'explosion GRB 090423 et la galaxie GN-z11 se situent aujourd'hui bien plus loin : à respectivement 29, 30 et 32 milliards al de nous. C.H.



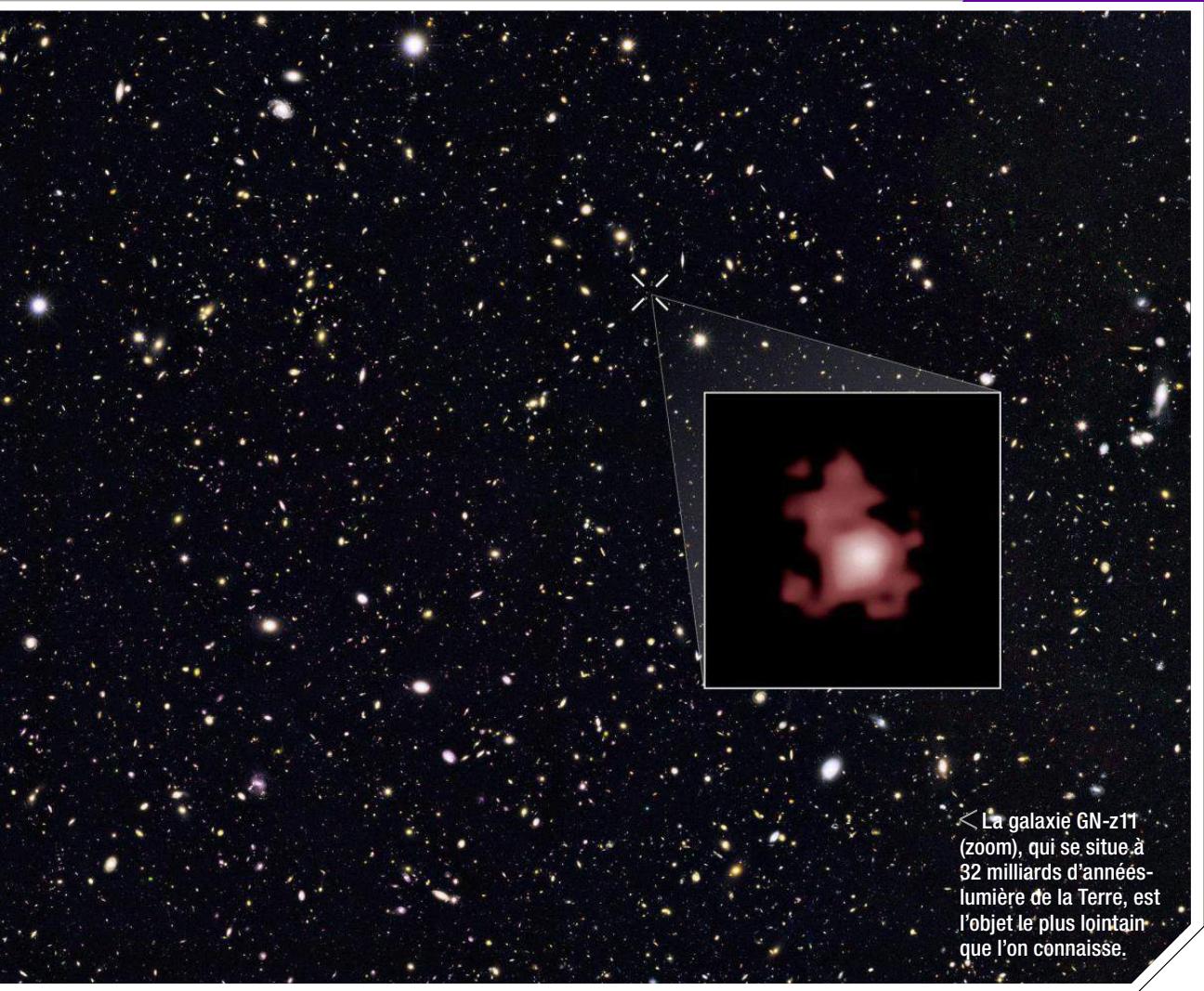
# Pourquoi l'or est-il si précieux ?

**Question de Pierre Casseya, internet**

En effet, l'or n'a pas été choisi comme étalon monétaire par hasard. D'abord, il est chimiquement inerte et donc inaltérable. De plus, il est rare (0,004 mg/kg dans la croûte terrestre). Certes pas autant que l'iridium ou l'osmium, mais, eu égard à sa couleur incomparable, il est identifiable au premier coup d'œil. Alors que la plupart des métaux réfléchissent la totalité de la lumière visible et apparaissent donc gris-blanc, l'or ne reflète

qu'un mélange de rouge, d'orange et de jaune. Sa teinte dorée est due à son noyau, qui est si massif que les physico-chimistes sont obligés de mobiliser un arsenal unique de mécanique quantique et de relativité pour calculer ses propriétés. "En plus de son caractère fascinant, l'or recèle encore des mystères scientifiques", conclut Florent Calvo, au Laboratoire interdisciplinaire de physique, à Grenoble. M.G.





## A quoi est due la sensation de froid dans le dos ?

Question de Colin Ardouin, Paris (75)

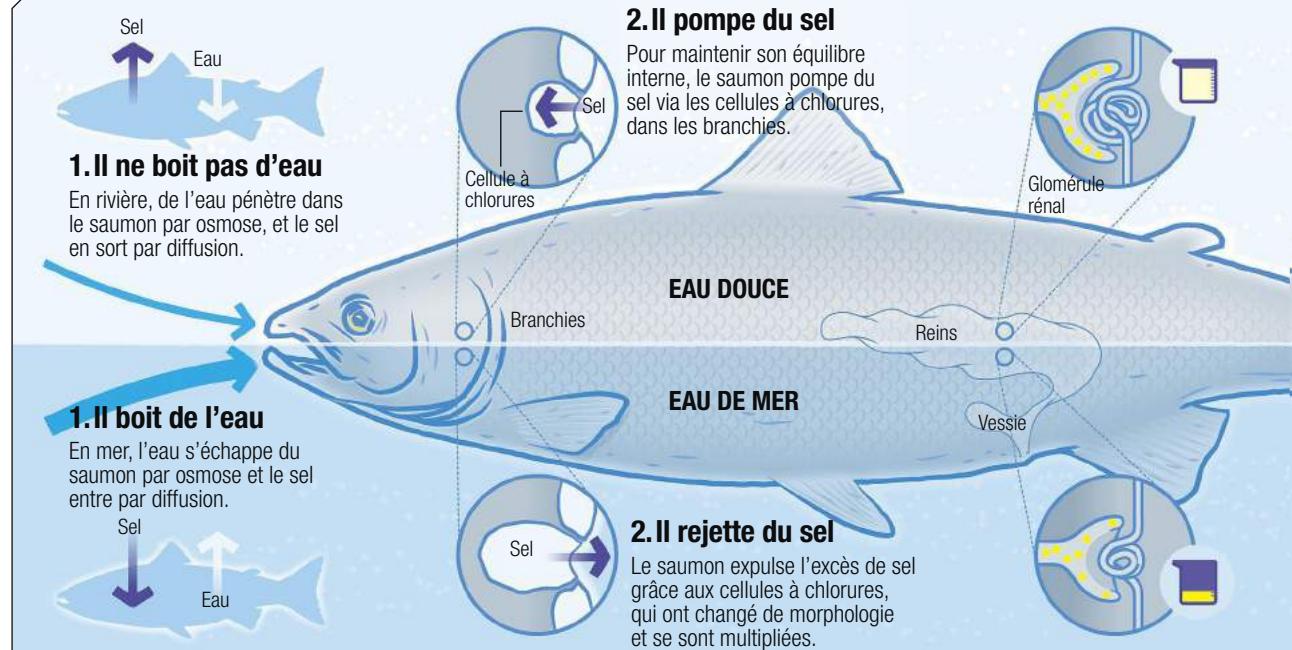
“La peur déclenche dans le cerveau une cascade de réactions au niveau de l’amygdale, qui transmet des signaux aux noyaux neurovégétatifs et à l’hypothalamus”, répond Cyril Herry, chercheur au Neurocentre Magendie, à Bordeaux. Le rythme cardiaque s’accélère, la tension artérielle augmente, les pupilles se dilatent... : des perturbations incontrôlables qui préparent l’organisme à la lutte ou à la fuite. Or ce chamboulement peut provoquer une variation de la température du corps et une légère contraction des muscles sous-cutanés : le froid dans le dos.

N.P.



S. IMMELER/NASA/SWIFT - VNG/S.PL/COSMOS - A.DAGAN

## Pour passer de l'eau douce à l'eau de mer, le saumon subit une complète



# Peut-on acclimater un poisson d'eau douce à la mer?

Question de Gérard Miazek, Prayssac (46)

Oui, mais seulement un nombre restreint d'espèces. Poissons d'eau douce et d'eau de mer sont en effet très différents. Les premiers ont une salinité interne supérieure à celle de l'eau de rivière. Par un phénomène d'osmose, l'eau a donc tendance à entrer dans le poisson via ses branchies. Pour contrebalancer ce processus, les poissons d'eau douce ne boivent pas et urinent continuellement – ils ont d'ailleurs un rein très long.

A l'inverse, les poissons d'eau de mer ont une salinité interne inférieure à

celle de la mer. Ils ont donc tendance à se vider de leur eau et, pour compenser, boivent beaucoup et urinent peu. Si l'on met un poisson d'eau douce dans la mer, il va donc se déshydrater et mourir. Et si l'on met un poisson marin dans l'eau douce, il se remplit d'eau et éclate. “Les thons, par exemple, sont totalement incapables de vivre en eau douce. Leurs grandes branchies, qui leur permettent d'absorber de grandes quantités d'oxygène et d'être des poissons très rapides, les rendent particulièrement

vulnérables au changement de milieu”, explique Gilles Bœuf, biologiste au Muséum national d'histoire naturelle. “Ils se remplissent d'eau quand on les met dans l'eau douce et meurent très rapidement. C'est d'ailleurs pour éviter d'être en contact avec l'eau des rivières qu'ils vivent loin des côtes.”

### UNE VIE ENTRE DEUX EAUX

En revanche, certaines espèces, comme le bar, la plie ou le flet, ont une certaine plasticité. Ce sont des poissons d'eau de mer qui

arrivent presque à s'adapter à l'eau douce et que l'on retrouve d'ailleurs dans les estuaires. “Mais ce passage doit se faire de façon progressive et n'est jamais total”, précise le chercheur. En général, à partir d'une certaine salinité, il y a un blocage.”

Sauf pour les quelques espèces qui font naturellement le voyage des rivières à la mer, ou inversement. L'anguille, par exemple, naît et se reproduit en mer mais vit le reste de son existence en eau douce : elle est “thalassotoque”.

## métamorphose

### 3. Il urine beaucoup

En rivière, le saumon élimine l'excès d'eau par une activité rénale importante, qui produit des urines abondantes et diluées.



### 3. Il urine peu

En mer, le nombre de glomérules a diminué, et l'activité rénale s'en trouve réduite. Les urines sont peu abondantes et très concentrées en sels.

Le saumon et l'esturgeon font le chemin inverse, ils naissent en rivière puis rejoignent la mer: ils sont "potamotoques". "Sur les 35 000 espèces de poissons que l'on connaît, seules 350 passent d'un environnement à l'autre", indique Gilles Bœuf.

Un passage qui n'est toutefois possible qu'à un moment particulier de leur vie, car il nécessite une métamorphose totale, avec des modifications physiologiques au niveau des branchies, des reins ou encore du tube digestif (voir infographie). Ainsi, chez le saumon, la préparation à la vie marine dure plusieurs mois, mais le passage en eau de mer ne se produit que dans une fenêtre de temps de trois semaines. En dehors de celle-ci, si on met un jeune saumon d'eau douce dans la mer, il meurt.

C.H.

## De quoi meurt-on quand on meurt "de vieillesse"?

Jean-Luc Gaudin, Vigneux-de-Bretagne (44)

La mort "de vieillesse" ne déroge pas à la règle: comme tout décès, elle est la conséquence d'une pathologie, elle-même liée au dysfonctionnement d'un organe. Le plus souvent le cœur: les maladies cardiovasculaires restent le premier facteur de mortalité chez les personnes âgées. *"La 'belle mort', celle qui survient dans le sommeil d'un seul coup et qui n'est pas forcément précédée de problèmes de santé, est d'origine cardiaque, la plupart du temps"*, observe

Olivier Drunat, gériatre et chef de service à l'hôpital Bretonneau de Paris. Mais de plus en plus de "morts naturelles" sont aujourd'hui provoquées par plusieurs maladies simultanées qui n'ont pas été diagnostiquées. Ce qui explique aussi pourquoi les certificats de décès sont parfois imprécis concernant les morts d'un certain âge: la véritable cause est tout simplement inconnue. *"Avant, on mourait souvent d'une pathologie bien définie, comme la grippe, ou de la déficience*

*d'un seul organe ciblé, comme le rein, constate le gériatre. Mais avec les progrès de soins, nous mourons maintenant de défaillances multiples."* Des défaillances encore mal comprises par les spécialistes – les processus précis du vieillissement demeurent mystérieux – qui touchent tout le corps, la résistance des organes s'amoindrissant au fil du temps, les cellules fonctionnant de moins en moins bien... sans préférence pour un organe par rapport à un autre.

F.C.

## Pourquoi les ragoûts sont-ils meilleurs réchauffés?

Question de Bertrand Lafon, Paris (75)

En fait, "ce n'est pas toujours vrai!", recadre Hervé This, chimiste spécialisé en gastronomie moléculaire (AgroParisTech-Inra). Certes, plus on réchauffe un ragoût, plus on casse (par hydrolyse) les protéines de collagène dans la viande. D'où la formation d'une soupe d'acides aminés, qui apportent de la saveur tout en épaisissant la sauce. Mais il ne faut pas trop chauffer! "A plus de 100°C, l'intérieur des fibres musculaires coagule, ce qui les rend un peu sèches, souligne le chercheur. De plus, l'ébullition provoque l'évaporation des composés odorants." Au risque de donner "un goût de carton". Les ragoûts sont donc meilleurs réchauffés... entre 60°C et 80°C. Ou simplement chauffés longtemps. Car le refroidissement n'a aucun impact sur le goût: "Il permet l'association de molécules mais n'engendre pas de nouveaux composés aromatiques, précise Hervé This. Et ces associations sont généralement réversibles..."

K.B.



# Un bébé apprend-il à parler et à marcher en même temps ?

Question d'Anissa Ouzir, Paris (75)

L'idée est répandue : un enfant qui parle ou qui a des dents tôt marchera plus tard... et vice versa. Mais "c'est une idée fausse", répond Brigitte Chabrol, présidente de la Société française de pédiatrie. *Le développement psychomoteur de l'enfant est un tout. Motricité, communication, compétences sociales et développement cognitif se mettent en place en même temps*". Toutes ces évolutions étant le résultat de la maturation du système nerveux, et bien sûr "des facteurs environnementaux :

*les indispensables stimulations apportées à l'enfant par son entourage*", précise la spécialiste. Ainsi, si vers 9 mois, le bébé commence à tenir debout, c'est parce que ses capacités cognitives lui permettent de comprendre l'intérêt de savoir marcher : autonome, il pourra enfin aller chercher des objets tout seul ; il comblera un désir de ses parents... Quant au langage, partie la plus élaborée de la communication, il se développe en parallèle, mélangeant gazouillis, répétition des syllabes, rires... mais aussi langage

gestuel. Cela de manière continue jusqu'à "l'explosion lexicale", vers 2 ans, au cours de laquelle l'enfant peut retenir jusqu'à dix mots par jour. N.P.

> Le développement de l'enfant, moteur et cognitif, est un tout indissociable.



## Pourquoi le vent souffle-t-il en rafales ?

C. Périsse, Séné (56), P. Hirtzlin, Baldersheim (68)

"Plongez un bâton à la verticale dans une rivière. A l'arrière se distingue une allée de tourbillons dont la taille est liée au rayon du bâton. Eh bien le même phénomène se produit dans l'atmosphère, lorsque le vent rencontre des arbres ou des bâtiments", explique Olivier Pannekoucke, de l'Ecole nationale de la météorologie, à Toulouse. Les rafales naissent en effet de la rencontre entre le vent et

le sol ou les obstacles sur son passage. "Le sol est assimilable à une paroi lisse qui stoppe le vent, précise le météorologue. Dans cette zone où la vitesse varie brusquement, de multiples tourbillons émergent et interagissent."

Conséquence : l'écoulement de l'air devient turbulent. Ces turbulences se diffusent du sol jusqu'aux couches supérieures de l'atmosphère, ce qui se tra-

duit par des accélérations intenses et soudaines du mouvement de l'air, dont la vitesse peut dépasser de plus de 18 km/h celle du vent moyen.

Ces tourbillons peuvent vivre quelques secondes ou plusieurs minutes, suivant leur taille et leur intensité. Et une rafale correspond simplement au passage de l'un d'entre eux, gros et intense. On peut la suivre dans l'espace et le temps. Et elle se forme donc d'autant plus facilement que le terrain est accidenté. "Plus une surface est rugueuse, plus l'écoulement de l'air risque de former des rafales à son contact." N.P.

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 la version numérique de *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

# Les animaux ont-ils des caries ?

Question de Christoph Waltking, Sautron (44)

*“On découvre parfois des caries chez des omnivores ou des herbivores : primates, rongeurs, chevaux. Carnivore, le chien peut être touché, mais pas le chat”, répond Florian Boutoille, vétérinaire à Nantes. Cette déminéralisation de la dent, causée par la prolifération de bactéries, reste rare chez l’animal. Aucun, en effet, ne cumule comme l’être humain les facteurs favorisant les caries. Nos molaires serrées et à la*

surface irrégulière sont plus accueillantes pour les microbes que les dents pointues et espacées des carnivores. En outre, les bactéries cariogènes se nourrissent de sucres fermentescibles qu’elles puisent dans les aliments de leur hôte ; or, le régime carnivore est pauvre en sucres. Enfin, la flore buccale des carnivores, basique, ne sied pas au *Streptococcus mutans*, la principale bactérie responsable des caries.

N.P.



**DANS CETTE ENQUÊTE,  
IL JOUE SA VIE...  
CAR LE COUPABLE,  
C'EST LUI.**

« Franck Thilliez a l’habitude de mettre nos nerfs à vif. »

Christine Oddo, *ELLE*

« Franck Thilliez creuse son sujet avec minutie, alliant science et suspense. Un thriller de la meilleure veine... »

François Lestavel, *Paris Match*

**FRANCK THILLIEZ**  
déjà 4 millions d'exemplaires vendus !



576 pages - 21,90 € Disponible en ebook chez 12-21

**fleuve**  
ÉDITIONS

*“La biodiversité comme vous ne l’avez jamais vue”*

# Une visite ludique et savante

Qu'est-ce que la biodiversité ? Comment évolue-t-elle ? Et l'homme, dans tout ça ? Si vous avez envie de trouver des réponses claires et fondées sur les récentes avancées scientifiques à ces questions et bien d'autres, courez visiter l'exposition “La biodiversité comme vous ne l'avez jamais vue”, au Naturalium de Besançon.

A la fois ludiques et savants grâce aux éléments des collections du muséum, à des vidéos et à d'autres supports multimédia, les six espaces thématiques de l'exposition proposent aux visiteurs de tous âges une vision de la biodiversité bien loin de celle d'un *Homo sapiens* dominant la nature.

## LUCA, L'ANCIÈTRE COMMUN

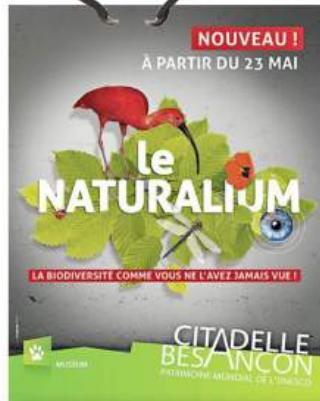
Dès la première salle intitulée “La biodiversité, c'est quoi ?”, l'homme est placé dans “l'océan du vivant” entre papillons, oiseaux et autres organismes. De quoi comprendre que l'homme ne descend pas du singe, les deux espèces partageant plutôt un ancêtre commun.

Par la suite, le visiteur se retrouve nez à nez

avec un buisson : l'arbre du vivant. En son centre, on retrouve l'ancêtre commun à toutes les espèces terrestres : LUCA (Last Universal Common Ancestor), la première cellule à partir de laquelle toutes les espèces ont évolué.

Les dégâts de l'espèce humaine sur les écosystèmes ne sont pas oubliés. Dans la salle “Menaces sur la biodiversité”, on se retrouve à l'intérieur d'une cuisine dont les placards s'ouvrent sur des informations liées à l'effet de certaines activités humaines sur la biodiversité. On apprendra que la consommation de pâte à tartiner chocolatée fait disparaître des oiseaux à cause des plantations de palmiers à huile, ou que les smartphones sont le fruit de la surexploitation des minéraux... On comprend surtout que les actions de l'homme pourraient provoquer sa propre perte.

Pas de leçon de morale pour autant. Dans un dernier espace intitulé “La biodiversité avant, pendant et après l'humanité”, le Naturalium expose les grandes crises d'extinction du vivant depuis plusieurs



- **“La biodiversité comme vous ne l'avez jamais vue”**
- Naturalium, Citadelle de Besançon (Doubs)
- Rens. : [www.citadelle.com](http://www.citadelle.com)

millions d'années comme, par exemple, celle des dinosaures. S'efforçant de replacer l'homme comme une simple espèce sur les branches de l'arbre du vivant, l'exposition souligne parfaitement que même si *Homo sapiens* pourrait tout à fait s'éteindre, comme dans le passé, la biodiversité, elle, pourrait rebondir dans le futur... mais sans que nous en soyons les témoins !

Olympe Delmas

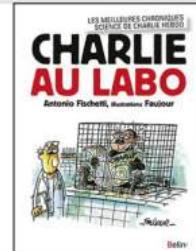
▲> Dans “l'océan du vivant”, l'homme n'est qu'un être parmi d'autres (la roussette, en haut ; ou l'ammonite, ci-contre).





LIVRE

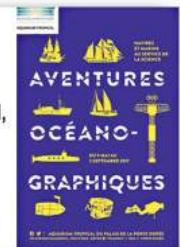
- **Charlie au labo**
- D'Antonio Fischetti, illustrations Loïc Faujour
- Ed. Belin
- 350 pp., 22 €



Pourquoi y a-t-il de moins en moins de miracles à Lourdes ? Qui connaît les fondements biologiques de la monogamie chez l'espèce humaine ? Quelles sont les conséquences des attentats de 2015 sur nos cerveaux ? Dans le magazine *Charlie Hebdo*, la science n'a peur de rien et Antonio Fischetti aborde toujours les sujets avec sérieux pour le fond et énormément d'humour pour la forme. Ce livre rassemble ses chroniques les plus marquantes, illustrées par Loïc Faujour. Parfait pour ceux qui veulent s'amuser beaucoup, s'offusquer peut-être, mais apprendre tout le temps ! C.T.

EXPOSITION

- **Aventures océanographiques**
- Aquarium tropical, Palais de la Porte Dorée (Paris)
- Jusqu'au 3 septembre
- 7 €/5 € (tarif réduit)



Le long d'un parcours construit autour de 25 maquettes de navires et sous-marins, cette exposition invite le visiteur dans les coulisses des explorations maritimes françaises les plus emblématiques. L'occasion d'appréhender ces aventures du point de vue de la technologie, toujours plus sophistiquée sur ces bateaux, ainsi que d'un point de vue humain, à travers les témoignages de scientifiques qui racontent leur voyage à bord du *Nautile*, de *Tara*, de *L'Astrolabe* et autres fameux navires.

Un monde peu connu à découvrir. C.T.

“

**FRANÇOIS SARRAZIN**

Professeur à l'université Pierre-et-Marie-Curie et chercheur au Centre d'écologie et des sciences de la conservation

*“L'ignorance génère l'indifférence et la destruction du vivant”*

**S&V:** L'espèce humaine pourrait-elle s'éteindre ?

**François Sarrazin:** C'est un risque qu'il ne faut pas nier. Mais aujourd'hui, ce sont les autres êtres vivants qui ont du mal à suivre parce que *Homo sapiens* recherche son bien-être à court terme. Il est important qu'une telle exposition rappelle qu'il y a plusieurs millions d'espèces autour de nous qui essaient sans succès de se maintenir dans les environnements que nous

façonnons et les espaces que nous leur laissons.

**S&V:** Actuellement, quel est le rapport entre l'homme et le reste du vivant ?

**F.S.:** L'homme a tendance à avoir une vision instrumentale de la biodiversité. Or, lorsqu'on exploite ou que l'on gère toujours dans le même sens un certain nombre de populations végétales ou animales, des pressions de sélection directionnelle peuvent avoir un impact sur les

trajectoires évolutives des espèces. On coupe ainsi des branches du buisson du vivant.

**S&V:** Quelles alternatives à cette protection ethnocentrique de la biodiversité ?

**F.S.:** Avec ma collègue Jane Lecomte, nous développons l'idée d'une vision "évozentrée" de la conservation du vivant, qui laisserait les non-humains poursuivre leur trajectoire évolutive au-delà de nos propres intérêts. Il n'y a pas de solution unique, mais cette transition majeure implique d'accepter de laisser faire la biodiversité, en laissant leur liberté d'évolution aux non-humains à nos côtés mais aussi dans des espaces dédiés.

Propos recueillis par O.D.

2 juillet 1917

# Un premier drone militaire décolle en France

La pluie tombe, par fines averses, sur le camp militaire d'Avord, dans le Cher. Pas de quoi décourager le capitaine Max Boucher, commandant de l'Ecole d'aviation, qui enclenche, ce 2 juillet 1917, à 16 h 15, les moteurs de son Voisin 150 HP. L'avion aux ailes tronquées roule sur 150 m puis décolle. Il vire progressivement à droite, parcourt plus de 500 m en s'élevant jusqu'à 50 m du sol. Ses 2 litres de carburant ne lui permettent pas d'aller plus loin. Il atterrit sans s'écraser, en touchant de l'aile droite.

En 1917, faire décoller un plus lourd que l'air n'a plus rien d'exceptionnel. L'exploit, ici, est autre : aucun humain n'est à bord. C'est l'appareil lui-

même qui assure sa propre stabilité. Une prouesse qui coûtera au capitaine son poste à l'Ecole, puisque le ministère de la Guerre lui avait intimé l'ordre d'arrêter ce projet. Qu'importe... Le général Ferrié, lui, est impressionné. Et l'encourage à poursuivre.

## RÉDUIRE LES RISQUES

Car quelques gradés ont vite vu l'intérêt : ce qui est précieux dans un avion militaire n'est pas l'avion – que l'on peut construire en séries – mais le pilote, qui exige des années de formation. Eloigner ce dernier de l'avion réduit les risques... Un an avant, l'ingénieur Archibald Low lançait, en Grande-Bretagne, un concept d'avions-cibles,

pilotés à distance par télégraphie sans fil (TSF), pour former les pilotes au tir sans risquer d'abattre par erreur l'avion qui remorque la cible. Tandis qu'aux Etats-Unis, une autre équipe d'ingénieurs travaille sur un projet similaire : le Hewitt-Sperry Automatic Airplane.

La technologie est prête depuis qu'en 1894, Octave Détable, un passionné d'aviation, a imaginé une voilure, constituée de cônes divergents, qui assure d'elle-même la stabilité de l'appareil. En 1896, l'astrophysicien américain Samuel Pierpont Langley expérimentait sur les rives du Potomac un aéroplane sans pilote propulsé par un moteur à vapeur, qu'il tentait de faire décoller à partir

d'une plate-forme sur l'eau. Et en 1898, son compatriote Nikola Tesla dirigeait par ondes radio un prototype de bateau. Mais diriger un avion et lui assurer un vol stable est une autre paire de manches. Jusqu'à ce que l'ingénieur américain Elmer Ambrose Sperry invente, en 1909, le gyroscope.

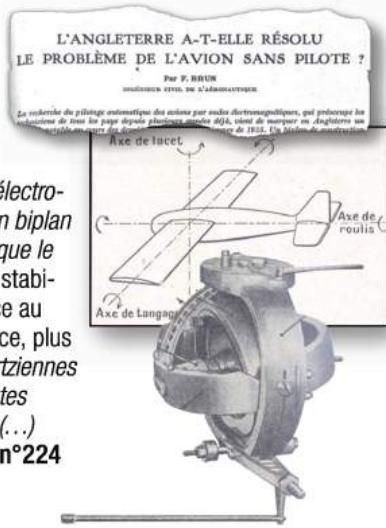
Toutes ces avancées ont convaincu Max Boucher. En 1912, il a proposé à Détable de concevoir un avion sans pilote. Leur premier essai, en 1914, échoue : le moteur de 30 CV est trop faible. Ils étaient prêts à tenter l'aventure avec un moteur plus gros, quand la guerre contre l'Allemagne éclate. Mobilisé, le capitaine Boucher ronge son frein : "Si nous avions 500 avions du type

## SCIENCE&VIE en parlait déjà...

PAR FIORENZA GRACCI

### 1936 UN BIPLANE PILOTÉ À DISTANCE

S&V annonce "un progrès notable" dans "la recherche du pilotage automatique par ondes électromagnétiques": en Angleterre, "un biplan (...) a correctement évolué sans que le pilote (...) ait eu à intervenir". La stabilité de l'appareil est assurée grâce au gyroscope ; son pilotage à distance, plus délicat, "par l'emploi d'ondes hertziennes de six longueurs d'ondes différentes (...) dont chacune est affectée à (...) un mouvement particulier". S&V n°224



### 1971 PROMIS AU COMBAT AÉRIEN

L'US Air Force est saignée par des "centaines d'appareils ultramodernes perdus" au Vietnam. Economique, discret et agile, "l'avion-robot semble appelé à une fortune nouvelle": soustrait "à tous les impératifs nés de la présence d'un équipage humain (...), il constitue un engin de guerre redoutable". S&V n°641

**BOMBARDIERS ET CHASSEURS EN CARTON**  
"Bon à jeter après usage"





*Détachable, la guerre serait finie dans six mois*, répétait-il. Quand il a été désigné, en 1915, pour réorganiser l'école d'Avord, il a donc installé sur deux Voisin les stabilisateurs de Détachable. Et prouvé, ce 2 juillet 1917,

qu'un avion sans pilote était techniquement possible.

Sur la base d'Etampes-Mondésir, Max Boucher améliorera avec méthode son prototype. Le 14 septembre 1918, il parviendra à faire parcourir 100 km, →

pendant 51 minutes, à un Voisin radiocommandé. Une version améliorée revolera le 4 avril 1923, sur 75 km. La mécanique est complexe : une douzaine de moteurs électriques, des dizaines de re-

Le capitaine Max Boucher y croit et enchaîne, avec l'aide d'ingénieurs, les prototypes d'avions sans pilotes guidés par TSF. Ci-dessus, en 1923, celui qu'il conçoit avec Maurice Percheron.

**ARMEMENT**

## Les avions sans pilote passent à l'attaque...

■ Les drones, ces avions d'observation sans pilote, connaissent des progrès technologiques rapides. Et l'on songe déjà à des appareils d'attaque dirigés à distance. La guerre aérienne automatique est-elle pour demain ?

PAR GERMAIN CHAMBERT

**L**e France a acheté quatre avions sans pilote Hunter d'origine israélienne. Ces quatre avions sont en train de faire leur entrée à l'armée de l'air (voir ci-contre), destinée à l'observation aérienne. Mais ils ont aussi une autre fonction de haute valeur : celle de faire des bombardements.

Les bombardiers ont depuis longtemps rempli leur rôle dans la conception, la mise en œuvre et l'entretien des opérations. Cela dit, nous venons de voir que les avions propulsés par des moteurs électriques peuvent être utilisés, également, sans pilote, d'utiliser des moyennes d'observation et d'attaque. C'est pourquoi nous devons faire alors des modifications pour modifier complètement ces derniers.

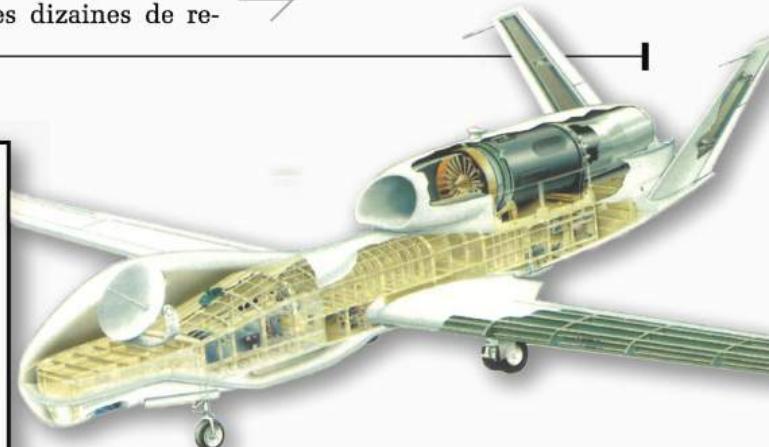
On peut penser que ces avions serviront du vol dans le système de navigation, non "téléphonique". Les

appareils, c'est à dire les pilotes de ces appareils, doivent être munis d'un système de télécommande pilotage. De plus, il faut que le système de télécommande soit assez précis pour permettre à l'appareil de se déplacer avec précision. Ensuite, il faut que l'appareil soit assez puissant pour pouvoir effectuer des tâches de combat.

En effet, dans les années soixante-dix, lorsque les premières armées d'aviation ont été créées, elles étaient toutes basées sur l'aviation militaire. Ainsi, en Afrique, en Asie et en Amérique latine, l'aviation militaire a été créée pour observer et établir la télévision à des fins de propagande. Puisque les avions sans pilotes sont beaucoup plus difficiles à détruire que les avions traditionnels, qui nécessitent les meilleurs

**Un seul équipage pour dix avions**

Une fois que ces quatre avions seront en service, nous pourrons utiliser leurs capacités pour effectuer des missions d'observation et d'attaque. Nous pourrons également utiliser ces avions pour effectuer des missions de surveillance et de recherche et sauvetage.



## 1998 L'OFFRE SE MULTIPLIE, LES ARMÉES S'ÉQUIPENT

*"La France a acheté quatre avions sans pilote Hunter d'origine israélienne (...) destinés à l'observation. [Mais] les futurs drones ne se contenteront plus d'observer, ils effectueront aussi des missions d'attaque. Leur forme et leur revêtement les rendront de plus en plus difficilement repérables par les radars."* S&V n°965

→ lais, des centaines de connexions, des gyroscopes, des servomoteurs à embrayages multiples... Et un homme reste encore à bord, pour pallier toute défaillance.

En 1924, tout est à peu près au point... sauf que les crédits sont coupés. Le projet s'arrête. La raison n'est pas que financière: les interférences électromagnétiques de la TSF rendent l'avion sans pilote très vulnérable au combat. Outre-Manche, l'aviation britannique garde néanmoins l'idée d'avions-cibles radioguidés pour entraîner ses pilotes.

#### LE VOL DU FAUX-BOURDON

Le mot "drone" y apparaît en 1935. L'avion-cible automatisé DH.82 Tiger Moth, baptisé *Queen Bee* (Reine des abeilles) par son constructeur De Havilland, a en effet un vol lent, pataud et si bruyant qu'il évoque celui du faux-bourdon, *drone* en anglais. Un terme que l'US Navy reprendra en 1941 pour ses



▲ Le vol lent et bruyant du *Queen Bee* britannique (1935) évoque moins la reine des abeilles que... le faux-bourdon, le *drone*.

avions-cibles Target Drone Denny... qu'elle tentera d'équiper de bombes pour détruire des installations japonaises, sans grand succès. Pendant ce temps, les Allemands imaginent en 1944 les premiers missiles radiocommandés. Autant de recherches qui déboucheront, à partir des années 1960, sur les premiers véritables drones d'observation, au-dessus des champs de bataille du Vietnam. Leur utilisation reste néanmoins plus ou moins confidentielle, jusqu'à la première

guerre du Golfe, en 1990, où les Américains les utilisent massivement, pour des missions de reconnaissance ou comme leurres. Les drones profitent du déploiement du GPS et des nouvelles capacités de transmission de données. Le Predator s'arme dès 2001 de missiles pour des missions d'attaque hautement dangereuses, tandis que le Global Hawk, d'une envergure de 40 m, permet l'observation globale d'une région à très haute altitude, transmettant les informations par satellite.

Le drone deviendra-t-il un avion de combat à part entière? Pour un coût dix fois plus faible, ses performances ne cessent de se rapprocher de celles d'un avion avec pilote. D'où les nombreux programmes en cours, comme le Neuron de Dassault Aviation ou le Taranis de BAE Systems, qui ont fusionné en 2014 vers un Future Combat Air System.

Encore pilotés à distance, ces drones finiront-ils par être entièrement automatisés, y compris pour engager le tir? "N'ayant pas la capacité de discrimination suffisante, la possibilité de décider le déclenchement d'un tir se révèle pour l'instant inenvisageable", observait avec prudence le capitaine Océane Zubeldia, dans son *Histoire des drones* (éd. Perrin, 2012). Mais les progrès de la robotique pourraient bien parachever, cent ans après, le projet esquisse par le capitaine Boucher d'un avion totalement affranchi de la moindre assistance humaine. Emmanuel Monnier

## SCIENCE&VIE en parlait encore

### 2014 L'INVASION SERA CELLE DES USAGES CIVILS

"C'est dans la vie civile que les drones sont en train de prendre le pouvoir." Ils séduisent "les particuliers comme les professionnels". S&V prédit: "Le ciel sera bientôt envahi de drones", qui surveillent, inspectent, transportent... "Sauf que rien n'est prêt pour les accueillir", sur le plan de la sécurité en particulier. S&V n°1160



### 2014 PEUR SUR LES CENTRALES

En octobre 2014, "EDF a identifié 25 survols de drones au-dessus de 14 centrales nucléaires (...). Une manœuvre pourtant interdite pour tout aéronef dans un rayon de 5 km autour de ces installations sensibles, et jusqu'à 1 000 m d'altitude". Radars militaires, brouillage électromagnétique, canons à énergie limitée... S&V fait le point sur les moyens techniques étudiés pour empêcher le survol des zones sensibles. S&V n°1168



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)





Innovation  
that excites

NISSAN INTELLIGENT MOBILITY



## Comme Les 2 Vaches, faites-nous naturellement confiance.

Nissan e-NV200, l'utilitaire 100% électrique.



Du 27 mai au 11 juin dernier, « Les 2 Vaches » ont fait leur tour de France et ont embarqué leurs célèbres yaourts bio à bord du Nissan e-NV200, rebaptisé pour l'occasion la « Meuhmobile ». De Marseille jusqu'à Paris, en passant par

Aix-en-Provence et Lyon, elles ont sillonné les routes hexagonales pour faire déguster leurs produits. Et avec une capacité de stockage de 800 pots, on peut vous assurer, qu'elles ont fait beaucoup d'heureux.

**NISSAN, LEADER MONDIAL DES VÉHICULES 100% ÉLECTRIQUES.**

**Zero Emission\*\***

Innover autrement. \*En France, garantie constructeur 5 ans limitée à 160 000 km (sauf **gamme e-NV200 2017** : garantie 5 ans limitée à 100 000 km - dont 3 ans de garantie constructeur et 2 ans d'extension de garantie - et à 3 ans pour les pièces de carrosserie et peinture). Voir détails sur les conditions générales de garantie et d'extension de garantie. \*\*Zéro émission de CO<sub>2</sub> à l'utilisation, hors pièces d'usure. **Modèle présenté** : version spécifique. Nissan West Europe : nissan.fr

# LE BRASSAGE EST UNE RICHESSE\*



PUBLICIS CONSILIO RSI/Summer 47 84 062



\*C'est grâce au brassage de ses ingrédients soigneusement sélectionnés et au savoir-faire de ses maîtres-brasseurs que la bière Heineken tire toute la richesse de son goût.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.