

Viking  
Fermes urbaines  
The Machine  
Tests cancer  
Violence  
Végétation  
Jupiter  
Pourquoi on ne saura jamais...  
Roundup  
N° 1186 - Juillet 2016  
SCIENCE&VIE

OBÉSITÉ **NATARUK** LED **COVOITURAGE** **RÉVEIL** **SOUCOUBE** **FLOTTANTE** **MARS**  
**JUPITER** **LÈVE-TÔT** **BIOMASSE** **THE MACHINE** **TITANIC** **XYLOPHAGES** **CANCER**

SCIENCE&VIE

# SCIENCE & VIE

JUILLET 2016 N° 1186  MONDADORI FRANCE

# POURQUOI ON NE SAURA JAMAIS... ■ ■ ■

DANS QUEL UNIVERS VIT-ON VRAIMENT ?  
QUE RESSENT L'AUTRE ? QUELLE EST LA  
LOI DU COSMOS ? QUEL FUT LE PREMIER  
ÊTRE VIVANT ? À QUOI RESSEMBLE UN  
ÉLECTRON ? OÙ SERONT LES PLANÈTES  
DANS 60 MILLIONS D'ANNÉES ? QUEL ÉTAIT  
LE GÉNOME DES DINOSAURES ? QUELS UNIVERS  
QUELLE DIRECTION SE TRACENT-ILS ?

D : 6,90 € - BEL : 4,80 € - ESP : 4,90 €  
GR : 4,90 € - DOM S : 4,90 € -  
DOM A : 6,90 € - ITA : 4,90 € - LUX : 4,80 €  
PORT CONT : 4,90 € - CAN : 6,75 \$ CAN  
MAR : 50 DH - TOM S : 750 CFP - TOM A :  
1.400 CFP - CH : 8,5 FS - TUN : 9 DTU

M 02578 - 1186 - F - 4,50 € - RD



**ROUNDUP** FAUT-IL INTERDIRE CE PESTICIDE ?

# Renault KADJAR

Vivez plus fort.



Système Easy Park Assist\*  
Boîte automatique EDC à double embrayage\*  
Projecteurs avant Full LED Pure Vision\*

\* Disponible de série ou en option selon version. **Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 3,8/5,8.**  
**Émissions CO<sub>2</sub> min/max (g/km) : 99/130.** Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.



**RENAULT**  
La vie, avec passion





POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE GRIGNOTER ENTRE LES REPAS.  
[WWW.MANGERBOUGER.FR](http://WWW.MANGERBOUGER.FR)

## L'HISTOIRE DE NOS FRITES, C'EST UNE HISTOIRE FRANÇAISE...

NOS FRITES SONT PRÉPARÉES AVEC DES  
**POMMES DE TERRE 100% FRANÇAISES.**  
ELLES SONT CULTIVÉES DANS LE NORD  
DE LA FRANCE OÙ NOUS CONTRIBUONS À  
L'ACTIVITÉ DE PRÈS DE 300 PRODUCTEURS\*  
LOCAUX. NOS FRITES SONT CUITES EN  
RESTAURANT, TOUT ÇA POUR VOUS GARANTIR  
DES FRITES **TOUJOURS PLUS CROUSTILLANTES.**



\*Estimation sur la base des volumes de produits achetés en 2015.

POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE GRIGNOTER ENTRE LES REPAS.  
[WWW.MANGERBOUGER.FR](http://WWW.MANGERBOUGER.FR)

# PEEL

## LES BONS INGRÉDIENTS



### \* LE MOMENT WILLIAM PEEL ?

C'est la rencontre unique de whiskies de malt et de grains qui lui donne son goût rond aux notes maltées et fruitées.

**IT'S PEEL TIME\***

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ, À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.



Emmanuel Monnier  
e.monnier@mondadori.fr

## Comment savoir ce qu'on ignore ?

Un dossier sur ce que la science ne sait pas ? Pis : sur ce qu'elle ne saura jamais. L'idée paraît provocante de la part d'un magazine qui affiche sa passion pour le savoir. Car que peut dire les scientifiques de ce qu'ils ignorent ? Il y a ceux qui s'offusquent, la science faisant le pari que tout serait explicable. Ceux qui accueillent nos questions avec humour : "Vous avez pensé à moi pour un dossier sur l'ignorance, j'en suis flatté !" Et ceux, enfin, qui saisissent la richesse qu'il y a à s'interroger sur les limites de toute connaissance, qui acceptent l'invitation à s'enfoncer dans les abysses de ce que la raison ne peut plus connaître. On en ressort plus humble, mais aussi plus assuré, lucide, sur ce que l'on sait.




Yves Sciamia  
y.sciamia@mondadori.fr

## Les bidons de la discorde

Le glyphosate est-il un poison mortel ou une molécule bénigne, voire quasi miraculeuse ? Après quelques mois de controverse sur l'herbicide le plus employé de France, surtout connu sous le nom de Roundup, il est devenu courant d'entendre à son propos les opinions les plus extrêmes et les plus contradictoires, toutes assénées avec la même assurance. Mais qu'en dit exactement la science ? J'ai tenté d'y voir plus clair, d'autant que plusieurs bidons du liquide de la discorde traînent dans ma cabane de jardin...

**actus** **16**



**ON SAIT COMMENT NOTRE CERVEAU RANGE LES MOTS**

Un nouveau modèle de la structure du cerveau permet de mieux comprendre comment les mots sont rangés dans notre mémoire. Les chercheurs ont découvert que les mots sont stockés dans des zones spécifiques du cerveau, et que ces zones sont liées à la complexité des mots. Plus un mot est complexe, plus il est stocké dans une zone éloignée du cerveau.

**L'événement** **42**

Interdiction du glyphosate

## LE PESTICIDE QUI EMPOISONNE LA SCIENCE

90%

Un nouveau modèle de la structure du cerveau permet de mieux comprendre comment les mots sont rangés dans notre mémoire. Les chercheurs ont découvert que les mots sont stockés dans des zones spécifiques du cerveau, et que ces zones sont liées à la complexité des mots. Plus un mot est complexe, plus il est stocké dans une zone éloignée du cerveau.

**À LA UNE**

10 LIMITES DE SCIENCE

# POURQUOI ON NE SAURA JAMAIS

Il paraît qu'il ne faut jamais dire jamais... Sauf en science ! Ce sont les scientifiques eux-mêmes qui le disent. Car malgré tous leurs efforts présents et à venir, ils savent aujourd'hui qu'ils n'auront jamais les réponses à certaines questions. Parce que celles-ci touchent à des limites observationnelles, cognitives, conceptuelles ou encore logiques. Un aveu d'impuissance ? Tout le contraire ! Le fait que la science prenne la mesure de sa propre ignorance est l'assurance de nouvelles connaissances. En attendant, ce dossier vous présente les dix plus grandes limites de science, depuis "on ne saura jamais ce que l'autre ressent" à "on ne saura jamais pourquoi". Vertige assuré.

PAR EMMANUEL MONIER, THOMAS CAVAILLE-FOL, MATHIEU GROSSON, ROMAN KONICOFF, EMILIE BAUSCHER, BENOÎT REY

**À LA UNE**

**COUVERTURE: GETTY**

**74**

À la recherche des derniers mystères de

## Jupiter

Un nouveau modèle de la structure du cerveau permet de mieux comprendre comment les mots sont rangés dans notre mémoire. Les chercheurs ont découvert que les mots sont stockés dans des zones spécifiques du cerveau, et que ces zones sont liées à la complexité des mots. Plus un mot est complexe, plus il est stocké dans une zone éloignée du cerveau.

**80**

LE NOUVEAU SCENARIO

Un nouveau modèle de la structure du cerveau permet de mieux comprendre comment les mots sont rangés dans notre mémoire. Les chercheurs ont découvert que les mots sont stockés dans des zones spécifiques du cerveau, et que ces zones sont liées à la complexité des mots. Plus un mot est complexe, plus il est stocké dans une zone éloignée du cerveau.

SCIENCE\_VIE 8, rue François-Orly 92543 Montrouge Cedex  
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67  
E-mail : svmens@mondadori.fr

Recevez *Science & Vie* chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 133.** 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 Boutique Science&Vie est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Bibliothèque de Caliac-Exposition insectes est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France Métropolitaine. Un encart Science&Vie Voyages-Croisière Mékong est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France Métropolitaine.



10 **Forum**

## Actus

- 16 **Labos**  
On sait comment notre cerveau range les mots; un microbe aussi tire la leçon de ses expériences; d'où venait l'iceberg du *Titanic*?...
- 26 **Environnement**  
Les calculs de la biomasse des océans étaient faux; les cultures OGM reculent pour la première fois...
- 30 **Médecine**  
Une peau "antirides" est à l'essai; un robot chirurgien opère tout seul; un même AVC peut être suivi de pronostics vitaux opposés...
- 36 **Technos**  
La sustentation magnétique franchit les 1 000 km/h; un nageur humanoïde va explorer les abysses...

## Événement

- 42 Interdiction du glyphosate  
**Le pesticide qui empoisonne la science**

## A la Une

- 50 **POURQUOI ON NE SAURA JAMAIS**
- 52 Les 10 plus grandes limites de science
- 68 Vive l'ignorance?

## Science & découvertes

- 74 Astronomie  
**Sonde Juno: à l'assaut des derniers mystères de Jupiter**
- 80 Biologie  
**Origine de la végétation: le nouveau scénario**
- 86 Anthropologie  
**Massacre de Nataruk: une autre histoire de la violence**

## Science & techniques

- 92 Cancer  
**Les tests sanguins vont tout changer**
- 98 Informatique  
**The Machine: l'ordinateur du nouveau monde?**
- 102 Ferme urbaine  
**Les LED révolutionnent les fruits et les légumes**

## Science & futur

- 106 L'avion militaire du futur a fait son premier vol; des lunettes connectées pourraient rendre la vue aux aveugles; les premiers convois routiers autonomes ont sillonné l'Europe; une soucoupe flottante révolutionne le cabotage; l'énergie solaire pourrait servir à stabiliser un satellite; la réalité augmentée s'invite à bord du tram; on garera bientôt les vélos dans des tours en verre...

## La science & la vie

### Science & société

- 114 Mode du "Miracle Morning": se lever tôt peut nuire à la santé
- 118 Essor du covoiturage: son bilan écologique est très relatif
- 120 Pollution de l'air aux particules fines: la majorité des villes françaises dépasse les normes

### Science & vie pratique

- 122 Bon à savoir
- 124 Technofolies

### Science & culture

- 128 Questions / Réponses
- 134 A voir / à lire
- 136 Il y a... 40 ans: *Viking* se pose sur Mars

# Forum

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

## Et si des animaux prenaient ces robots pour des insectes ?

J'ai lu avec intérêt votre article sur les microrobots qui ressemblent à des insectes et pourraient proliférer dans notre environnement. Il y a un aspect dont vous ne parlez pas du tout : a-t-on étudié leur impact possible sur la faune insectivore ? Oiseaux, poissons, reptiles, mammifères pour lesquels, au mieux, la digestion risque d'être diffi-

cile s'ils consomment un de ces robots à la place d'un insecte. Il me semble voir là un risque pour l'écosystème !

*Benoît Grember, Hazebrouck (59)*

**SV** Si la prolifération de microrobots dans l'espace naturel n'est pas encore une certitude, elle reste une possibilité et votre question est justifiée.



En matière d'impact sur la faune, on peut faire le rapprochement avec les drones, dont les heures de vol se comptent déjà en millions. Aux Etats-Unis, une

expérience a montré que ces appareils pouvaient perturber les ours. Des spécimens équipés de cardiofréquence-mètre ont permis de mesurer que leur rythme cardiaque était multiplié par quatre au moment de survols, alors qu'ils semblaient aussi placides que des vaches regardant passer les trains... pour lesquelles la question du bien-être se posait déjà il y a 180 ans ! L'usage des drones dans l'espace aérien des parcs nationaux américains est d'ailleurs interdit depuis 2014. Par ailleurs, les exemples de drones attaqués par des rapaces ne manquent pas, que les oiseaux les aient jugés menaçants ou pris pour des proies.

“Très intéressant votre article de mai sur le rôle du menton ! Dommage qu'aucun des chercheurs ne pratique la boxe comme je l'ai fait, il comprendrait que cette excroissance protège les dents en cas de combat.”

*René Rossi, Alpes-Maritimes*



## Une remarque supersonique

Dans le n° 1184, vous écrivez : “L'un des gros défauts des appareils de la famille du Concorde était le bruit assourdissant généré lors du franchissement du mur du son (...).” Comme si le “bang” ne se produit qu'au passage du mur du son. Or, il est permanent lors d'un vol supersonique.

*Daniel Christien, Brest*

**SV** Vous avez raison, le “bang supersonique” résonne quand l'avion dépasse la vitesse du son (et pas seulement quand

il la franchit). Mais au sol, l'observateur a l'impression d'un bruit ponctuel car lui, ne se déplace pas en même temps que l'avion.

## De l'usage du "plus" sur la couverture de Science & Vie

**Intrigué par le signe + qui apparaît maintenant sur chaque première de couverture, je me suis permis de mesurer la taille de la branche verticale du haut par rapport à la branche verticale du bas. Quelle ne fut pas ma surprise en m'apercevant qu'elle est plus petite en haut qu'en bas. Ce signe + prend alors un tout autre sens. Mais je suis loin d'imaginer de votre part toute forme de prosélytisme religieux.**

François Mignard, Besançon

## Un crash lié à une météorite ?

J'ai lu que le crash de l'avion d'Egyptair le 19 mai dernier en Méditerranée aurait été provoqué par... la chute d'une grosse météorite! Cette hypothèse me rappelle votre récent article sur le premier mort par météorite (S&V n° 1183, mai 2016). Qu'en pensez-vous ?

Fabrice Lefèbvre, Lyon

**S&V** A ce stade de l'enquête, il est impossible de nous prononcer. L'information a en effet circulé sur des sites web plus ou moins fiables, qui établissent un lien entre une alerte émise par un système de surveillance spatiale

russe, une rentrée atmosphérique observée au-dessus des États-Unis et cet accident aérien survenu en Méditerranée... Tout cela est donc très flou et les dates ne semblent pas coïncider. *"Quand il n'y a pas d'explication simple et immédiate à un crash, l'hypothèse de la météorite resurgit comme ce fut le cas pour le vol TWA 800, relate Tommaso Sgobba, directeur de l'Association internationale pour le progrès de la sécurité spatiale. La probabilité qu'une météorite frappe un avion est extrêmement faible, même si ce n'est pas impossible – nous menons actuellement un projet de recherche sur le sujet."*

## On en reparle



## ET SI LIGO AVAIT LOUPÉ LE SIGNAL D'UN TROU DE VER ?

La nouvelle avait fait grand bruit: des ondes gravitationnelles avaient été détectées pour la première fois, un siècle après leur prédiction par Einstein (voir S&V n° 1183). D'après la forme du signal enregistré, elles avaient été émises par deux trous noirs qui avaient fusionné pour n'en former plus qu'un. Oui mais... en est-on si sûr? Vitor Cardoso, de l'université de Lisbonne, a envisagé que cette fusion ait engendré non pas un troisième trou noir mais... un trou de ver! Un objet hypothétique dont raffolent les auteurs de science-fiction, qu'ils considèrent comme des passages vers une autre région de l'Univers! Et selon les conclusions de la nouvelle étude, seule la toute fin du signal permettrait de départager la formation d'un trou noir de celle d'un trou de ver. Hélas, l'instrument LIGO n'y a pas eu accès: sa sensibilité n'était pas suffisante. Il aurait fallu que la fusion ait eu lieu non pas à 1,3 milliard d'années-lumière, mais deux à quatre fois plus près, pour qu'il puisse trancher. Pour Frédéric Vincent, de l'Observatoire de Meudon, dont les travaux ont démontré qu'il est quasiment impossible de distinguer les deux objets avec un télescope classique (qui observe les ondes lumineuses), c'est le grand intérêt de cette nouvelle étude: elle démontre que pour trancher entre la naissance d'un trou noir et celle d'un trou de ver, il faudra utiliser non des télescopes classiques, mais des détecteurs d'ondes gravitationnelles... pourvu qu'on augmente leur sensibilité.

B.R.

# NOUVEAU SUV PEUGEOT 2008

## CONÇU POUR DOMINER LES ÉLÉMENTS



BETC Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Paris

à partir de  
**199** €/MOIS | **4 ANS D'ENTRETIEN  
SANS APPORT**

Moteur PureTech / Grip control® / PEUGEOT i-Cockpit®

ORIGINE  
FRANCE®  
GARANTIE

BVCert. 6033203

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL. Consommation mixte (en l/100 km) : de 3,5 à 4,8. Émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) : de 90 à 110.

En location longue durée (LLD) sur 49 mois et pour 40 000 km. Exemple pour la LLD d'un Nouveau Peugeot 2008 Access 1,2 PureTech BVM5 82 neuf, hors options, incluant 4 ans d'entretien. **Modèle présenté** : Nouveau Peugeot 2008 Allure 1,2 PureTech BVM5 82 options Grip Control®, pack Urbain, Park Assist, caméra de recul, navigation, Peugeot Connect, Pack Cielo et peinture métallisée : **298 €/mois**. Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives. Offre non cumulable valable jusqu'au 30/06/2016, réservée aux particuliers pour toute LLD d'un Nouveau Peugeot 2008 neuf dans le réseau Peugeot participant, sous réserve d'acceptation du dossier par PEUGEOT FINANCE - Loueur : CREDIPAR, SA au capital de 1 385 170 008 €, RCS Nanterre n° 317 425 981 - 12, avenue André-Malraux, 92300 Levallois-Perret. Le PCP Entretien Plus peut être souscrit indépendamment de toute LLD aux conditions disponibles dans le réseau Peugeot participant.

## NOUVEAU SUV PEUGEOT 2008

MOTION & EMOTION



PEUGEOT

## On en reparle



### TESTER SON ADN NE CHANGE PAS LA VIE

Dans le n° 1181, je vous livrais les détails de mon expérience de test génétique vendu en libre accès sur internet. Malgré les nombreuses pastilles rouges m'indiquant un risque supérieur à la population générale pour plusieurs maladies, je vous expliquais pourquoi ces résultats ne m'angoissaient pas: les calculs utilisés par ces entreprises me paraissaient douteux, l'absence de prise en compte de mon histoire personnelle et de mes habitudes de vie rendait certains résultats même tout à fait improbables, ou encore les risques annoncés étaient si faibles que je ne savais qu'en faire. Seul le résultat concernant la maladie coéliqua m'avait interpellée et m'incitant à tenter un régime sans gluten... que j'abandonnai au bout de quelques jours. Au final, ce test n'aura eu aucun impact sur ma vie ni sur mes habitudes, ce qui rejoint une nouvelle méta-étude anglaise portant sur l'impact des informations génétiques sur le mode de vie des patients. Au total, 18 études ont été analysées, portant sur cinq comportements: le tabagisme, la consommation d'alcool, le régime alimentaire, l'exposition au soleil et l'activité physique. Résultats: connaître ses risques génétiques n'influence aucun de ces comportements! Et n'a pas non plus d'impact sur le niveau d'anxiété ou de dépression. A l'heure où les tests génétiques fleurissent sur internet et où la médecine prédictive et participative semble promise à un bel avenir, ces résultats montrent que prédire ne rime pas forcément avec prévenir...

L.B.

### Du photovoltaïque entre des rails: une fausse bonne idée



Concernant les cellules photovoltaïques à l'étude sur nos routes, ne serait-il pas plus simple, rapide et finalement rentable de recouvrir l'entre-rail des voies ferrées avec des panneaux solaires classiques, plutôt que de chercher à développer des matériaux à usage routier? Sachant que ces routes solaires doivent respecter nombre de contraintes, telles que résister au passage des camions, proposer une adhérence convenable pour les pneus, pouvoir être adaptées sur le bitume... toutes limites inexistantes sur des voies ferrées, puisqu'elles ne seraient en contact avec rien! Bravo pour ce magazine si riche et passionnant: un grand plaisir chaque mois renouvelé!

*Dominique Legrand, Reims*

**S&V** L'idée n'est pas inintéressante. Il y a tout de même plusieurs limites qui rendent cette solution moins

pertinente que celle de l'exploitation des toits, des champs ou des routes, pour installer des panneaux photovoltaïques. D'abord, malgré les apparences, le passage d'un train à grande vitesse au-dessus des rails génère de fortes contraintes sur ces derniers. La résistance de panneaux à cet endroit devrait donc tout de même être assurée, avec des contraintes non négligeables. Par ailleurs, le ballast, c'est-à-dire le lit de pierre sur lequel reposent les voies, a besoin d'être entretenu et modifié régulièrement, ce qui impliquerait d'enlever les panneaux à chaque fois. Troisième constat: il y a beaucoup moins de surface disponible entre les rails que sur les routes. Enfin, dernier argument: on perd la possibilité de rendre la route intelligente grâce à un système d'alimentation électrique solaire intégré (pour l'éclairage, la signalisation, le dégivrage, la recharge de véhicules électrique, etc.).

### La boutique SCIENCE & VIE

Plus de

**400**

- ▶ Livres
- ▶ Objets scientifiques
- ▶ Idées cadeaux

[www.laboutiquescienceetvie.com](http://www.laboutiquescienceetvie.com)





## NE FAITES QU'UN AVEC VOS PNEUS

Ne faites qu'un avec vos pneus et la route ne fera qu'un avec vous



### ventus S1 ev<sup>2</sup>



Le pneumatique issu de la compétition. Ultra Hautes Performances, développé au DTM.

### ventus Prime<sup>3</sup>



L'équilibre parfait entre performances et sécurité.

### ventus V12 ev<sup>2</sup>



Le pneu Hautes Performances dédié au plaisir de la conduite.



Hankook France SARL : Le Patio, 35-37 rue Louis Guérin, 69100 Villeurbanne, France

OFFICIAL PARTNER = Partenaire officiel  
driving emotion = L'envie de conduire

[hankooktire-eu.com/fr](http://hankooktire-eu.com/fr)

## Des effets de marée 640 000 fois plus intenses!



Sur l'illustration de votre article "Incroyables exoplanètes" (avril 2016), il semble qu'il y ait un océan sur la planète vue dans le ciel. Or, les effets de marée sont ici potentiellement énormes, non ? Des océans bien délimités peuvent-ils tout de même s'y organiser ?

Daniel Robert, Nantes

**S&V** Oui, les effets de marée sur de telles planètes sont bien plus importants que ceux qu'exerce la Lune sur la Terre. Dans le cas cité ici de deux planètes similaires à la Terre séparées par 3 rayons terrestres, ils

sont... 640 000 fois plus intenses que chez nous ! Et pourtant, n'allez pas imaginer que les océans sont 640 000 fois plus déformés que les nôtres. Au contraire, les marées hautes et basses ne changent pas d'endroit, car à de si petites distances, les deux planètes se présentent systématiquement la même face. Ce qui laisse le temps aux continents de se déformer, la planète prenant une légère forme allongée... qu'épousent les océans, dont le niveau moyen est le même en tout point de la surface. Toute l'eau n'est donc pas rassemblée vers la planète



jumelle, "car les marées ne sont pas juste une force d'attraction causée par le satellite, mais sont la 'différence' entre cette attraction et la force centrifuge qui la compense exactement au centre de la Terre, rappelle Aurélien Crida, de l'Observatoire de la Côte d'Azur.

Voilà pourquoi à la surface de la Terre, plus près de la Lune, l'eau est légèrement soulevée, quand sur la face opposée, la gravitation de notre satellite étant plus faible et la force centrifuge plus forte, le bilan des forces envoie l'eau loin de la Lune". Ou ici, de la planète jumelle.

## SCIENCE & VIE

Une publication du groupe



PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

### RÉDACTION

8, rue François-Orly  
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 (actualités, société),  
Caroline Tourbe (médecine)

### CHEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

### RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Thomas Cavallé-Fol, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

### SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION

Florence Roucolle

### SECRÉTAIRES DE RÉDACTION

Anne Riera, Clara Baudel

### MAQUETTISTES

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

### SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE

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

### DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

### ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, K. Bettayeb, L. Blancard,  
B. Bourgeois, F. Cadu, O. Capronnier,  
G. Cirade, A. Dagan, A. Debrouse, S. Devos,  
O. Donnars, S. Fay, H. Gélot, F. Gracci,  
M. Grousson, E. Haentjens, R. Ikonicoff,  
M. Kontente, E. Leroy-Terquem, C. Loiseau,  
J. Maufay, E. Monnier, M.-A. Pelaez,  
N. Picard, A. Pihen, B. Rey, M. Spée,  
Y. Sciamia, E. Thierry-Aymé

### DIRECTION-ÉDITION

#### DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

#### DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

### DIFFUSION

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

### MARKETING/INTERNATIONAL

Giliane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon,  
Michèle Guillet

### PUBLICITÉ

#### DIRECTEUR EXÉCUTIF

Valérie Carmy

#### CONTACTS PUBLICITÉ

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

#### PLANNING

Angélique Consoli (53 52),  
Stéphane Guillard (53 50)

#### TRAFFIC

Stéphane Durand (53 12)

#### OPÉRATIONS SPÉCIALES

Jean-Jacques Benezech (19 83)

### Grande-Bretagne : Publieurope LTD

(infolodon@publieurope.com –  
44 (0)20 7927 9800);  
Allemagne : Publieurope Munich  
(infomunich@publieurope.com  
0049 89 2908150);  
Suisse : Publieurope Lausanne  
(infolausanne@publieurope.com  
0041 21 323 3110);  
Espagne : Publimedia Madrid  
(infomadrid@publim-gestion.es  
0034 91 212 83 00)

### FABRICATION

Daniel Rougier,  
Agnès Châtelet

### FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

### ÉDITEUR

#### MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Orly  
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 €  
Dépôt légal : juillet 2016

### ABONNEMENTS

Christophe Ruet (directeur),  
Catherine Grimaud (directrice marketing direct)  
Johanne Gavarini (responsable marketing direct)

### 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

Etats-Unis et Canada : Express Mag,  
Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais),

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

mondadori-suisse@edigroup.ch.

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

mondadori-belgique@edigroup.be

Autres pays : nous consulter.

### À NOS ABONNÉS

Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonnement 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 sous opposition motivée. Les informations pourraient 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-Orly,

92543 Montrouge

Cedex

Par mail : sev.

lecteurs@

mondadori.fr

#### COMMANDE D'ANCIENS

NUMÉROS, RELIURES

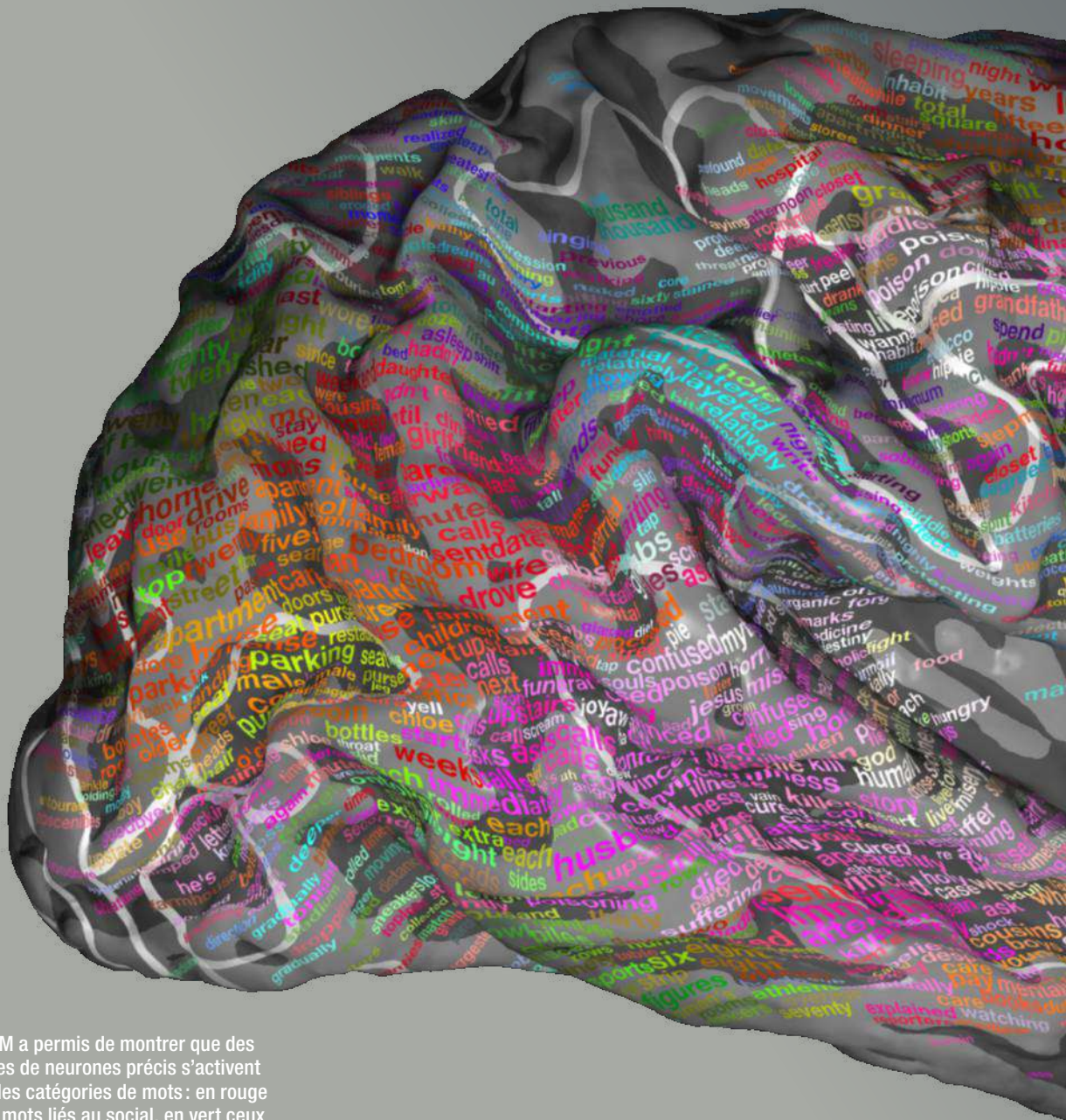
ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

Contact@laboutiquescienceetvie.com



# actus

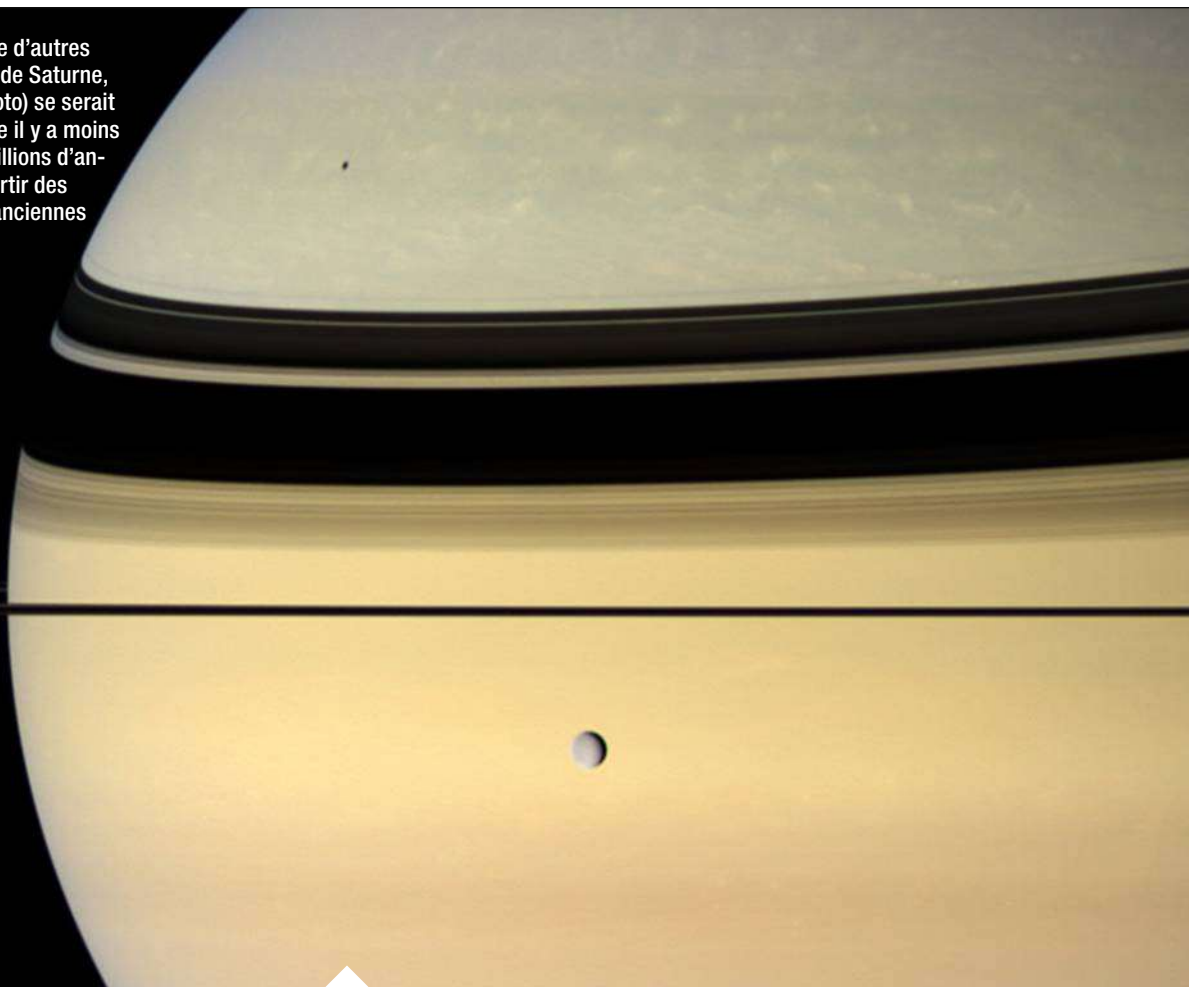


L'IRM a permis de montrer que des groupes de neurones précis s'activent selon les catégories de mots : en rouge vif les mots liés au social, en vert ceux liés aux nombres, en bleu à l'extérieur ou en rose à la violence...





> Comme d'autres satellites de Saturne, Rhéa (photo) se serait constituée il y a moins de 100 millions d'années à partir des débris d'anciennes lunes.



PLANÉTOLOGIE

## CERTAINES LUNES DE SATURNE NE DATENT QUE DES DINOSAURES

Rhéa, Mimas, Encelade... et la plupart des lunes de Saturne auraient moins de 100 millions d'années! C'est ce qu'ont montré les simulations de Matija Cuk et ses collègues de l'institut Seti. Explication: sachant que Thétyx accomplit 2,9 tours autour de Saturne pendant que Dioné en effectue 2, et qu'elles s'éloignent continuellement de la planète géante, les

chercheurs ont calculé qu'il y a 100 millions d'années, elles en étaient plus proches et orbitaient au rythme de 3 tours contre 2. *"Ce rapport entier, appelé 'résonance', est dramatique en mécanique des astres,* explique Aurélien Crida, de l'Observatoire de la Côte d'Azur: *il chamboule les orbites et les incline!"* Or, les deux orbites ne sont pas inclinées... Ce qui signifie,

selon Matija Cuk, que cette résonance n'a jamais eu lieu car ces lunes n'existaient pas! Elles se seraient formées plus tard, à partir des débris d'anciennes lunes fracassées... dont les anneaux seraient les miettes. Un épisode ultraviolet qui aurait eu lieu il y a moins de 100 millions d'années, à l'époque où nos dinosaures brouaient placidement.

**B.R.**

### DU GENRE DES BÉBÉS QUI PLEURENT...

Les adultes associent instinctivement les pleurs graves aux garçons et les aigus aux filles, même sans différence acoustique avérée. Face aux mêmes pleurs, les hommes perçoivent une détresse plus grande s'ils pensent que c'est un garçon. E.L.-T.

### IL N'Y AVAIT QU'UNE ESPÈCE DE MAMMOUTH AMÉRICAIN

Les analyses ADN menées par des chercheurs canadiens et américains ont révélé que les mammoths d'Amérique du Nord n'appartenaient pas à des espèces différentes et qu'ils se reproduisaient entre eux. M.S.

### LES VÉGÉTARIENS ONT UN GÈNE DIFFÉRENT

L'étude de certaines populations d'Asie et d'Afrique essentiellement végétariennes a révélé la présence d'une forme "optimisée" du gène qui sert à synthétiser soi-même certains acides gras essentiels présents dans les produits camés. E.A.

### ARCHÉOLOGIE

## Le plus vieil oiseau sculpté a 35 000 ans

Ce passereau ou cette perdrix de 5 cm est sur le point de s'envoler depuis près de 35 000 ans... L'équipe de Laurence Bourguignon l'a découvert parmi les déchets d'un atelier de tailleur de silex de l'Aurignacien, près de Bergerac (Dordogne). Rapidement jeté après avoir été créé, il est, pour la chercheuse, un bel exemple d'art éphémère, qui ouvre la discussion sur le rôle de ces premières expériences artistiques. Tout y est remarquable... Le thème de l'oiseau, la technique (en relief abattu, obtenu en grattant le silex avec des outils de pierre), le naturalisme de la représentation, sans parler du style, inédit : ailes déployées en perspective plate avec leur plumage, bec pointu, petit œil et poitrine soulignée d'un trait. E.R.

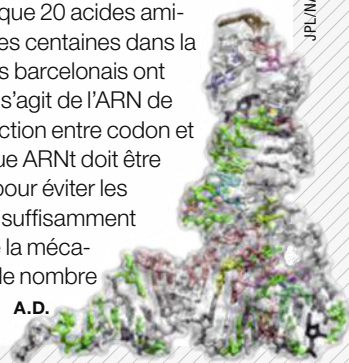


^ Cette sculpture de 5 cm a été retrouvée dans les déchets d'un tailleur de silex de l'Aurignacien.

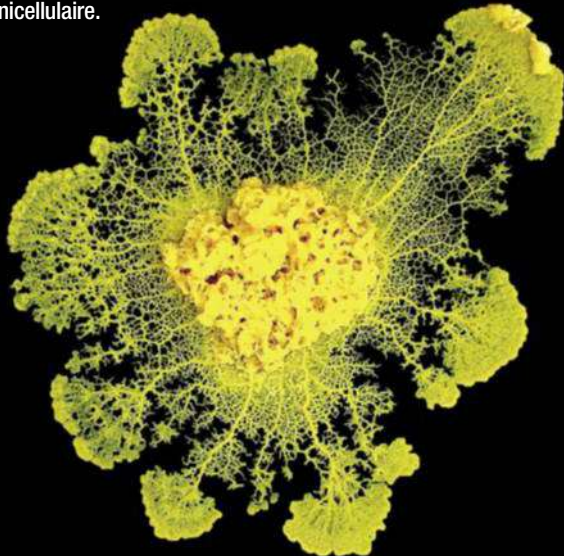
### BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

## Non, les configurations de la vie ne sont pas infinies

Chez les êtres vivants, l'information génétique est codée par 64 "codons" différents (ACC, UAG, CGC...). Ces codons désignent les acides aminés qui s'assemblent pour fabriquer les protéines qui assureront le fonctionnement de nos cellules. Or, nos protéines ne comprennent que 20 acides aminés différents, bien qu'il en existe des centaines dans la nature. Pourquoi? Des biochimistes barcelonais ont mis le doigt sur le facteur limitant : il s'agit de l'ARN de transfert (ARNt), qui assure la traduction entre codon et acide aminé correspondant. Chaque ARNt doit être suffisamment différent des autres pour éviter les erreurs de traduction, tout en étant suffisamment semblable pour interagir avec toute la mécanique de traduction... Ce qui limite le nombre de configurations possibles. A.D.



✓ *P. polycephalum* est doté d'une forme d'apprentissage baptisée "habitation", jamais observée chez un organisme unicellulaire.



MICROBIOLOGIE

## UN MICROBE AUSSI SAIT TIRER LA LEÇON DE SES EXPÉRIENCES

Il n'a pas de système nerveux et encore moins de neurones, mais il est capable de tirer les leçons de ses expériences! *Physarum polycephalum* est un organisme atypique appelé protiste qui vit dans les sous-bois: ni animal ni végétal ni même champignon, il est composé d'une seule cellule géante aux multiples extensions. Des biologistes de l'université Paul-Sabatier de Toulouse l'ont mis en culture en présence de flocons d'avoine, dont il est friand. Pour atteindre sa nourriture, le protiste s'étend normalement à la vitesse de 5 cm/h. Or, les biologistes ont ici placé sur son chemin

deux substances amères. Pour éviter de les toucher, puisqu'il les perçoit comme nocives, *P. polycephalum* n'a d'abord avancé qu'une fine extension, mettant des heures à atteindre sa nourriture. Au fil des jours, pourtant, il s'est mis à couvrir la distance de plus en plus vite. "Il a appris à ignorer la présence de substance amère par un phénomène qu'on appelle 'habitation', explique David Vogel, co-auteur de l'étude. Une forme d'apprentissage connue chez tous les animaux, mais qui n'avait jamais été observée chez un être unicellulaire." **O.D.**

NEUROLOGIE

## Les battements de cœur troublent la vue

Le cerveau perçoit moins bien les stimuli visuels s'ils sont synchronisés avec les battements du cœur! Une équipe suisse a montré sur une centaine de volontaires qu'ils mettaient plus de temps à détecter des images, et peinaient à les distinguer entre elles, si elles apparaissaient au même rythme que leurs contractions cardiaques. Le cerveau chercherait en effet à éteindre ce qu'il confond avec des effets secondaires du battement, pour ne pas perturber la perception de la réalité. **E.A.**

COGNITION ANIMALE

## Le chant de la mésange obéit à une syntaxe

Pour la première fois, des chercheurs suédois, japonais et suisses ont montré que la capacité à combiner des mots pour exprimer des idées n'est pas réservée à l'homme. La mésange de Chine peut, elle aussi, accéder à ce niveau linguistique. Quand un oiseau chante des sons que l'on va appeler "ABC", les autres scrutent la présence d'un prédateur dans les environs. En entendant "D", ils s'approchent de l'émetteur. Ainsi, "ABC-D" les fait regarder alentour et s'approcher du haut-parleur que les scientifiques ont placé pour l'expérience. La diffusion de "D-ABC" ne suscitant aucune réaction, les chercheurs en ont déduit que l'ordre des sons revêt une importance cruciale pour la compréhension du message. **M.S.**



## BLANCHE-NEIGE (*INQUIÈTE*) :

---

– Pas facile de gérer 7 petits à l'étranger. Cela me rassurerait d'avoir une assurance responsabilité civile.

## PRINCE (*RASSURANT*) :

---

– Pas nécessaire, nous avons une



---

**Visa Premier : une garantie responsabilité civile à l'étranger** pour le remboursement des dommages matériels et/ou corporels à un tiers.

Découvrez aussi sur [visa.fr](http://visa.fr) les 30 autres services Visa Premier.

Conditions et informations dans les notices d'informations sur le site.

---

Être Premier aura toujours ses avantages.

**VISA**

> La bactérie *P. aeruginosa* duplique certains de ses gènes pour leur attribuer de nouvelles fonctions.



BIOLOGIE

## LA DUPLICATION GÉNÉTIQUE EST BIEN LA CLÉ DE L'ÉVOLUTION

Comment les ailes sont-elles apparues chez les oiseaux? Les fleurs dans le règne végétal? “Depuis les années 1970, on estime que les gènes dupliqués jouent un rôle important dans l'émergence de nouveaux traits”, répond Craig MacLean, de l'université d'Oxford. Pour étayer cette hypothèse, il a cultivé 380 bactéries *Pseudomonas aeruginosa*, qu'il

a placées en présence d'une centaine de sources de carbone différentes (sucres, acides aminés...). Et a constaté, au bout d'un mois, que certaines avaient développé la capacité de digérer de nouveaux sucres. Leur séquençage a alors révélé que l'acquisition de nouveaux traits métaboliques était due à des mutations de gènes préexistants dupliqués. “La

redondance génétique permet ici de créer de nouvelles fonctions sans compromettre celles exprimées par d'autres versions du gène, explique le chercheur, qui estime que ces résultats seront utiles en microbiologie clinique: *Plus une bactérie a de gènes dupliqués, plus elle développera facilement une résistance à de nouveaux antibiotiques.* **E.L.T.**

PHYSIQUE

## Emprisonnée, l'eau devient quantique

Solide, liquide, gazeux... Des physiciens américains viennent de découvrir un 4<sup>e</sup> état de l'eau après en avoir emprisonné une molécule dans un cristal de béryl (photo), comme cela peut se produire dans la nature. Compressée, la molécule H<sub>2</sub>O subit ce qu'on appelle un “effet tunnel”, un état quantique dans lequel les deux atomes d'hydrogène (H) ne sont plus localisables autour de l'atome d'oxygène (O), mais potentiellement dans six positions probables. H<sub>2</sub>O n'est plus polarisée, mais se trouve dans un état neutre, ce qui va à l'encontre de toutes les propriétés classiques de l'eau, notamment son affinité à se lier à d'autres molécules. **O.D.**

PALÉOGÉNÉTIQUE

## Hommes de Neandertal et femmes Sapiens faisaient peu de garçons

En 100 000 ans, l'homme de Neandertal et nos ancêtres se sont croisés à maintes reprises... mais pas toujours sans souci! En séquençant pour la première fois l'ADN du chromosome Y (masculin) d'un néandertalien ayant vécu en Espagne il y a 49 000 ans, des généticiens ont découvert qu'il ne nous a transmis aucun gène. Le chromosome portait en effet des mutations déclenchant une réponse immunitaire chez la mère *Sapiens* en cas de gestation. Très peu de garçons naissaient donc de ces unions, accélérant l'extinction de Neandertal. **F.G.**



SPL/COSMOS - SHUTTERSTOCK

## ALADIN (*INCRÉDULE*) :

---

– Un écran plasma, un séjour aux Maldives, un cabriolet, des places de ciné... Mais comment tu fais pour faire apparaître tous ces trucs tout le temps ?

## GÉNIE (*DISCRÈTEMENT*) :

---



Visa Premier : toute l'année des réductions jusqu'à 25%



les cinémas  
**GAUMONT PATHE!**



Et retrouvez aussi sur [visa.fr](http://visa.fr) les 30 autres services Visa Premier.

Offres réservées aux détenteurs de la carte Visa Premier. Détails et conditions des offres sur [www.visa.fr](http://www.visa.fr)

Être Premier aura toujours ses avantages.

**VISA**



Cet iceberg se serait détaché de la côte sud-ouest du Groenland à la fin de l'été 1911.

GÉOGRAPHIE

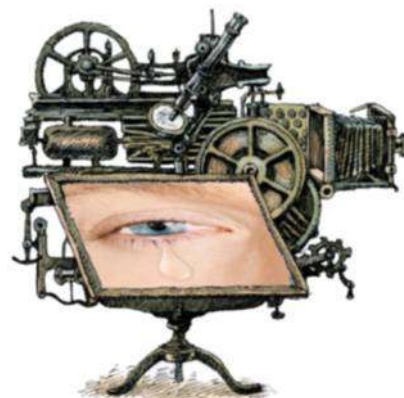
## ON SAIT D'OÙ VENAIT L'ICEBERG DU TITANIC

Deux géographes britanniques ont retracé l'origine de l'iceberg qu'a percuté le célèbre paquebot le 14 avril 1912. Grâce à leur modélisation, nourrie d'éléments sur les courants et les conditions météorologiques de l'année 1912, ils ont pu établir que le responsable venait de la région de Qassimiut et Frederikshab, sur la côte sud-ouest du Groenland. Il appartenait à un groupe de glaciers formés il y a plus de

100000 ans. *"Il s'en serait séparé à la fin de l'été ou au début de l'automne 1911 avant de voyager durant six mois en mer du Labrador"*, précise Grant Bigg. Lorsque le *Titanic* l'a croisé, il devait mesurer 17 m de hauteur sur 125 m de longueur et peser 1,5 million de tonnes. Impressionnant, mais rien en comparaison des 30 m de hauteur, 500 m de longueur et 75 millions de tonnes qu'il faisait à l'origine. **O.D.**

# 10 000 milliards de degrés

C'est la plus haute température jamais mesurée par un télescope, relevée aux abords du quasar 3C 273, le point le plus lumineux du ciel. Situé à 2,4 milliards d'années-lumière, ce trou noir est si loin que l'équipe russe à l'origine de cette mesure a dû mettre son radiotélescope spatial en réseau avec 4 autres au sol, pour atteindre la résolution d'un instrument de 171 000 km de largeur! **B.R.**



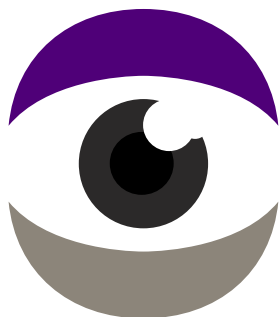
## Il est impossible de pleurer une rivière

"*Cry me a river*", chantait Julie London en 1955... Poignant, certes, mais physiquement impossible, nous disent Leah Ashley et Robbie Roe. Dans le cadre d'un exercice de rédaction de publication scientifique, ces deux étudiants du Centre de sciences interdisciplinaires de Leicester (Royaume-Uni) ont démontré qu'une personne, même très abattue, serait bien incapable de "pleurer une rivière". En fait, toutes les larmes du monde n'y suffiraient pas! Car même en prenant comme référentiel la plus courte rivière du globe (la Roe River, dans le Montana, aux Etats-Unis), il faudrait pas moins de 410 milliards de personnes sanglotant sans s'arrêter pendant toute une journée – à raison de 1,2 microlitre par minute – pour produire les 709 millions de litres d'eau charriés quotidiennement sur ses 61 mètres... Soit environ 4 fois le nombre d'hommes et de femmes ayant foulé la Terre depuis l'apparition d'*Homo sapiens*! Tout au plus, nos deux apprentis scientifiques ont-ils estimé que si chacun des 7 milliards d'humains présents sur Terre versait 55 larmes de taille moyenne, pourrions-nous, à nous tous, remplir une piscine olympique (2,5 millions de litres). Mais cela ferait un bien piètre titre de chanson... **E.H.**

MASA - SHUTTERSTOCK - S.AQUINO



# Futur leader ou **leader du futur ?**



*Bousculez  
les évidences*



*Écoutez  
vos émotions*



*Restez  
connecté*

## **Leadership ? #Humanship !**

Le leadership est en chacun de nous. C'est un potentiel qui ne demande qu'à être développé. NEOMA Business School vous apprend à révéler vos propres compétences en matière de leadership. Osez les points de vue différents et réinventez les modèles établis. Prenez en compte vos émotions et cultivez l'empathie. Restez connecté et mobilisez les talents, avec la performance collective en ligne de mire.

**Head. Heart. Hands. Stay human, become a great leader, boost your humanship !**



Rejoignez-nous sur [neoma-bs.fr](https://neoma-bs.fr)

**NEOMA** BUSINESS SCHOOL

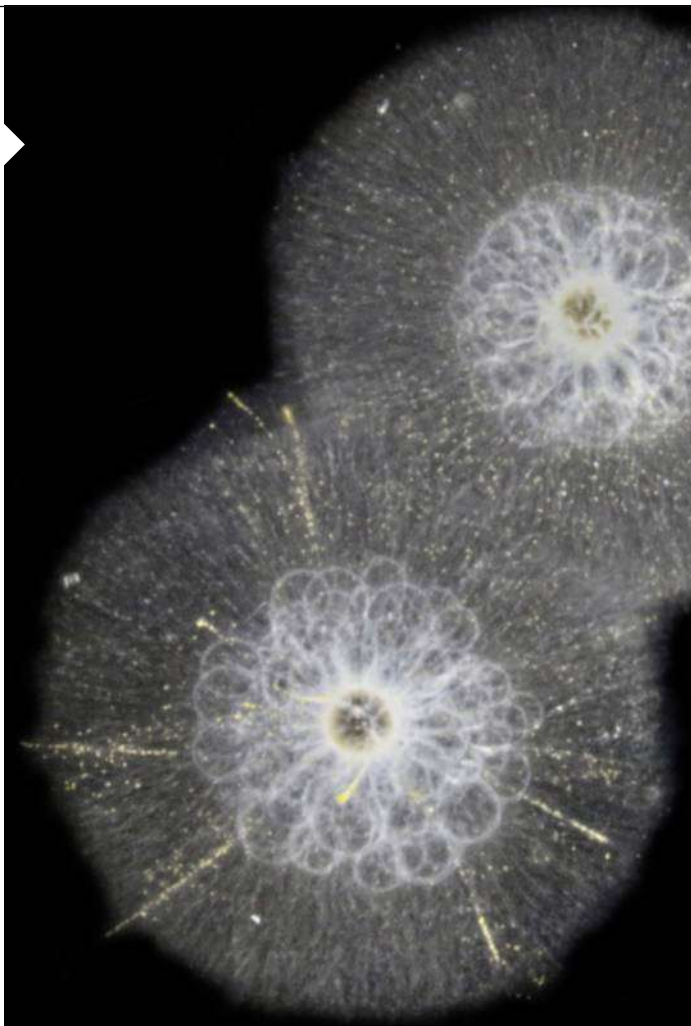
REIMS • ROUEN • PARIS

OCÉANOGRAPHIE

# LES CALCULS DE LA BIOMASSE DES OcéANS ÉTAIENT FAUX

89 millions de tonnes de matière vivante réparties à travers tous les océans du globe avaient tout simplement échappé aux scientifiques ! C'est le résultat spectaculaire que vient de publier une équipe dirigée par Fabrice Not, de l'Observatoire de Roscoff, qui peut ainsi se vanter d'avoir révélé rien moins que 5,2 % de la biomasse océanique globale, en l'occurrence une vaste famille planctonique : les *Rhizaria*. Comment a-t-on pu manquer un morceau du vivant aussi énorme ? "Tout le monde savait que les rhizaires, de gros organismes unicellulaires d'un diamètre supérieur à 600 µm, existaient,

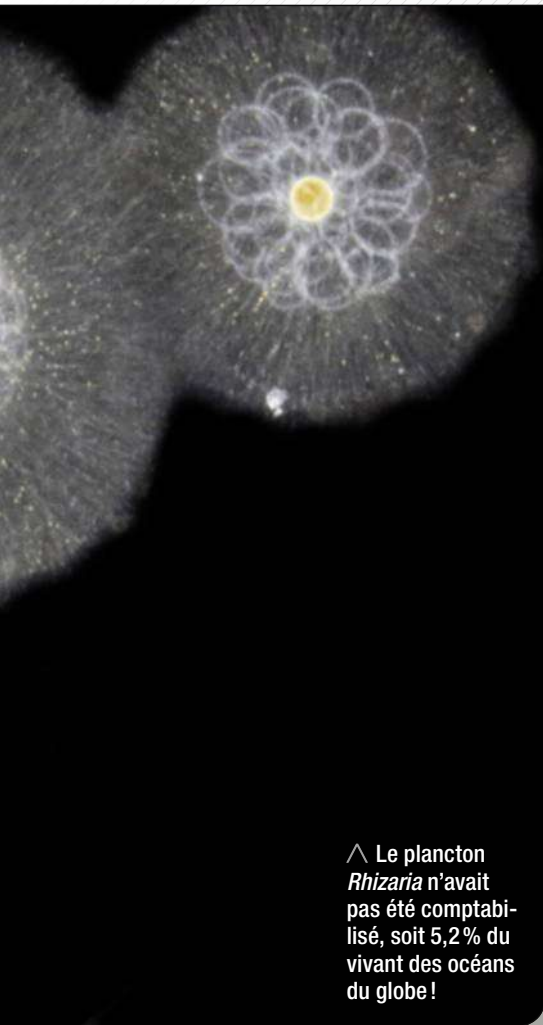
nuance Fabrice Not, mais nous n'avions pas pris la mesure de leur importance parce que les prélèvements planctoniques classiques, effectués au filet, les détruisent. C'est grâce à notre nouvelle méthode d'analyse, qui utilise une caméra sous-marine, que nous avons réalisé combien ils étaient abondants." Les *Rhizaria* sont fascinants : ces organismes parviennent à survivre dans des zones pauvres en nutriments en s'associant à des algues unicellulaires, un peu à la façon des coraux. Et leur comportement face au réchauffement des océans intéresse déjà les chercheurs. **Y.S.**



ÉLEVAGE

## Des veaux sans cornes ont été clonés

Des généticiens américains viennent de donner naissance à cinq veaux aux cornes "génétiquement supprimées". Pour cela, ils ont introduit les séquences d'ADN responsables de l'absence de corne, déjà présentes chez la race bovine Angus, à l'intérieur des cellules de taureaux reproducteurs de la race laitière Holstein. Les veaux ont ensuite été obtenus par clonage. Cette lignée inédite, développée grâce à de nouvelles techniques de modification génétique (voir S&V n° 1180), n'aura plus à subir l'écornage douloureux et coûteux pratiqué actuellement. **M.-A.P.**



^ Le plancton *Rhizaria* n'avait pas été comptabilisé, soit 5,2% du vivant des océans du globe!

### SEUL LE BLÉ PROFITE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'effet de la hausse du CO<sub>2</sub> a été modélisé à l'horizon 2080 sur 4 grandes cultures : blé, maïs, riz et soja. Seule la première voit son rendement augmenter dans les régions tempérées. Toutes les autres baissent. **Y.S.**

### LE LOUP EST PLUS BRACONNÉ QUAND SA CHASSE EST LÉGALE

Les politiques de chasse menées dans le Wisconsin et le Michigan, aux Etats-Unis, ont montré que l'autorisation d'abattre des loups pendant une période donnée encourage les braconniers à en tuer hors des limites légales. **M.-A.P.**

### AUTANT DE PESTICIDES DANS L'AIR DE PARIS QU'À LA CAMPAGNE

Airparif a relevé 38 pesticides dans l'air parisien, contre 36 en milieu rural. Ce sont surtout des insecticides et des acaricides, quand l'air des campagnes est dominé par les herbicides. **M.-A.P.**



^ Les insectes réduisent l'intensité des feux de forêt en limitant la quantité de combustible.

#### FORESTERIE

## En fait, les xylophages atténuent les feux

L'augmentation concomitante, ces dernières décennies, des feux et des attaques d'insectes dans les forêts laissait penser que les secondes favorisaient les premiers. Un raisonnement *a priori* logique – en dépérissant, les arbres prennent l'apparence d'allumettes géantes – mais qui s'est révélé faux. Une équipe de l'université du Vermont a en effet constaté que les forêts les plus attaquées étaient celles qui avaient subi les incendies les moins sévères. Son étude s'appuie sur 81 forêts tempérées où des incendies ont suivi des proliférations de deux espèces d'insectes : *Dendroctonus ponderosae*, qui s'en prend à l'écorce, et *Choristoneura freemanii*, aux feuilles. En consommant beaucoup de matière végétale, les insectes réduisent la quantité de combustible et donc l'intensité des feux. Quant à la hausse du nombre d'incendies, elle s'expliquerait par le réchauffement et par les activités humaines. **Y.S.**

TEBIARD/UPMC/CNRS - RECOMBINETICS - COLE BURSTON/AFP

# 5 minutes

(et 18 secondes)

Ce sera, en 2100, l'augmentation de la durée du vol Londres-New York. En cause : le réchauffement climatique, qui accentue la différence de températures entre les régions polaires et tropicales, accélérant le jet-stream, qui souffle d'ouest en est au-dessus de l'Atlantique. Le retour durant lui, 4 minutes de moins, l'aller-retour sera au final plus polluant. **M.S.**



> En 2015, les surfaces plantées en OGM s'établissaient à 180 millions d'hectares.



AGRONOMIE

## LES CULTURES OGM RECULENT POUR LA PREMIÈRE FOIS

C'est du jamais vu depuis vingt ans de cultures OGM: 2015 a été marquée par une contraction, certes ténue (-1%), des surfaces plantées en OGM dans le monde, qui s'établissent à 180 millions d'hectares. Les causes de cette situation inédite? *"Dans les pays qui les acceptent, les OGM se sont désormais largement imposés sous deux formes principales: les semences qui permettent de résister à certaines chenilles, et celles qui tolèrent un herbicide*, note Christian Huyghe, directeur scientifique adjoint à l'Inra. *Ces OGM n'ont donc plus vraiment de marge de*

*progression."* De fait, trois pays, les Etats-Unis, le Brésil et l'Argentine, représentent à eux seuls plus de 75% des surfaces concernées, largement dominées par quatre plantes seulement: le maïs, le soja, le coton et le colza. Et demain? *"De nouveaux pays s'ouvriront ou bien de nouvelles innovations agromonomiques se produiront, la progression pouvant alors peut-être reprendre*, indique l'agronome. *A l'inverse, si leur service rendu disparaît, parce que papillons ou mauvaises herbes seront devenus résistants, les surfaces pourraient continuer à régresser."* **Y.S.**

GÉOPHYSIQUE

## La fonte des glaces déplace les pôles

Les scientifiques s'en doutaient; les données satellites le confirment: le mouvement des pôles, qui s'amplifie depuis les années 2000, est bien dû au réchauffement climatique. La fonte des calottes glaciaires (Antarctique et Groenland) redistribue les masses océaniques et continentales. *"Elle provoque un soulèvement de la croûte terrestre dans les hautes latitudes nord, entraînant une dérive d'environ 11 cm par an vers l'ouest de l'axe de rotation de la Terre"*, explique la géophysicienne Anny Cazenave. **M.-A.P.**



ÉCOLOGIE

## Les vautours protègent contre la propagation de maladies

Selon une équipe américano-turque, les vautours, ces "charognards obligatoires" incapables de chasser, sont en compétition avec les "charognards facultatifs", chiens, rats, goélands... qui, eux, ont d'autres ressources alimentaires. Or, ceux-ci véhiculent des maladies. Ainsi, la prolifération de chiens consécutive à l'empoisonnement de vautours a favorisé la rage en Inde, où elle fait des milliers de morts. Ces oiseaux sont donc de précieux auxiliaires de la santé publique... et de la biodiversité, car les "charognards facultatifs" menacent aussi de nombreuses autres espèces, en pillant leurs nids par exemple. **Y.S.**



# Lutti Mint



## IceBall

# GOUTEZ À SA FRAICHEUR GLACIALE



[www.lutti.com](http://www.lutti.com)



Pour votre santé, pratiquez une activité physique régulière. [www.mangerbouger.fr](http://www.mangerbouger.fr)

SANTÉ PUBLIQUE

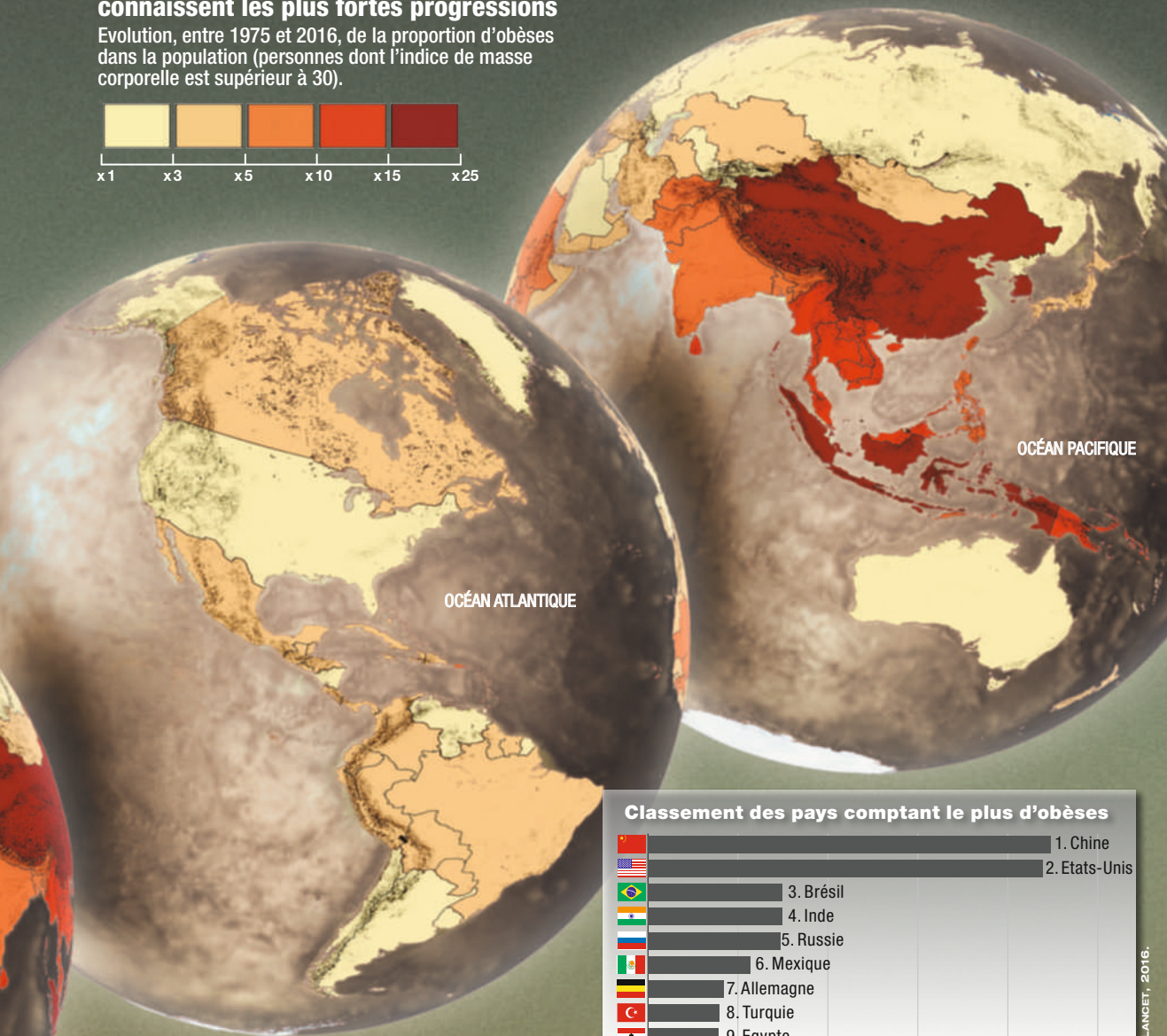
# L'OBÉSITÉ EXPLOSE DANS LES PAYS ÉMERGENTS

Depuis 40 ans, l'obésité ne cesse de progresser. Chaque décennie, la population mondiale a gagné 1,5 kg de poids corporel, selon l'analyse la plus complète jamais réalisée sur le sujet, réunissant les résultats de près de 1 700 études dans 186 pays. Quand, en 1975, on comptait deux fois plus de malnutris (en sous-poids) que d'obèses, la proportion s'est inversée, l'obésité devançant désormais globalement la maigreur. En 2014, 10,8 % des hommes et 14,9 % des femmes sont obèses, respectivement deux et trois fois plus qu'en 1975. Cette prise de poids mondiale est cependant très inégalement répartie géographiquement : tandis que des pays comme la Chine, l'Indonésie et la Corée du Sud connaissent un véritable boom, d'autres ne varient pratiquement pas : c'est le cas de l'Europe continentale et des États-Unis, où le taux d'obésité est déjà élevé. *“Le plus frappant est la progression que connaissent les pays à revenus moyens-bas, comme l'Inde (x8,69), le Népal (x8,22) ou le Bangladesh (x7,45)”*, relève Majid Ezzati, professeur à l'Imperial College de Londres et auteur principal de l'étude. A ce rythme, en 2025, une personne sur cinq dans le monde sera obèse. *“Une projection alarmante qui ne doit pas masquer la dénutrition qui afflige encore des régions comme l'Asie du Sud-Est, où une personne sur 4 est en sous-poids.”* **FG.**

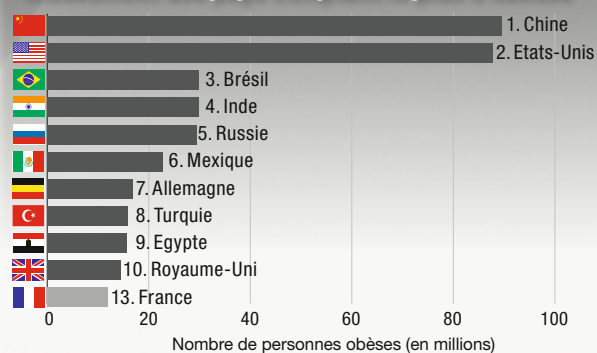


## Chine, Indonésie et Corée du Sud connaissent les plus fortes progressions

Evolution, entre 1975 et 2016, de la proportion d'obèses dans la population (personnes dont l'indice de masse corporelle est supérieur à 30).



### Classement des pays comptant le plus d'obèses



SOURCES : THE LANCET, 2016.

# 25

Le nombre d'obèses a été multiplié par 25 en Corée du Sud entre 1975 et 2014. Un record.

# 640 millions

C'est le nombre d'adultes obèses dans le monde en 2014. Ils étaient 105 millions en 1975.

# 24,4

C'est l'indice de masse corporelle moyen des femmes dans le monde en 2014 (à la limite du surpoids, 25). Il était de 22,1 en 1975.

G. CRADE - M. KONTEINTE



« Invisible et élastique, cette couche de silicone adhère à la peau et lui confère un aspect plus jeune. »

DERMATOLOGIE

## UNE PEAU "ANTI-RIDES" EST À L'ESSAI

Des chercheurs du MIT (États-Unis) ont conçu une peau synthétique capable de masquer – temporairement – les imperfections de l'âge. Invisible, élastique et adhérente, elle possède les caractéristiques mécaniques d'une peau jeune. Elle est constituée de deux couches étalées l'une après l'autre : les deux interagissent pour former un réseau tridimensionnel de silicone. Les chercheurs ont

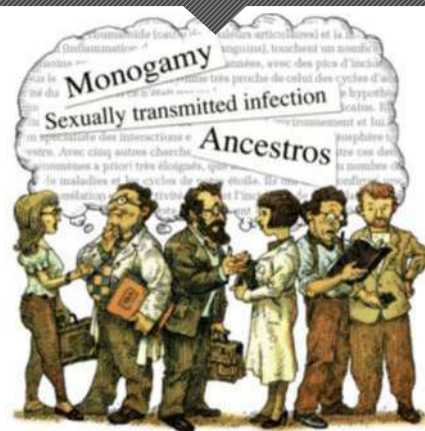
testé cette seconde peau sur douze personnes présentant des "poches" sous les yeux. Dès les premières minutes, les rides et irrégularités se sont amincies, puis les poches ont disparu. Le produit a fait effet vingt-quatre heures. Selon ses inventeurs, cette peau artificielle pourrait également servir comme protection solaire ou aider à la cicatrisation des plaies et des brûlures. **O.C.**

NEUROLOGIE

## Un même AVC peut être suivi de pronostics vitaux opposés

Quelles sont les chances de survie à un accident vasculaire cérébral (AVC) hémorragique ? Darin Zahuranec (université du Michigan) a demandé à 752 neurologues de donner un pronostic à un mois dans quatre cas précis. Les prédictions de mortalité ont varié de 0% à 100% : des écarts "surprenants" selon l'auteur, même si ces accidents sont connus pour leur imprévisibilité. Sachant que le pronostic pèse lourd dans la décision de réaliser ou non des actes thérapeutiques... **C.T.**

MELANIE GONICK/MIT - S. AQUINO



## Les MST auraient favorisé la monogamie

Marqué par le développement de l'agriculture et la forte croissance des populations humaines, le néolithique correspondrait au moment où l'interdiction de la polygamie est intervenue dans de nombreuses sociétés. Pourquoi ? Chris Bauch, mathématicien à l'université de Waterloo (Canada), propose une réponse originale : et si c'était notamment parce que la monogamie diminue le risque de propagation de maladies sexuellement transmissibles (MST) ? Pour tester son hypothèse, le chercheur a simulé, avec l'aide du spécialiste d'écologie évolutive Richard McElreath, la propagation de MST dans des populations de tailles et comportements sexuels différents. Et a constaté qu'à partir du moment où une population est composée de plusieurs centaines d'individus, la monogamie lui permet de s'agrandir plus rapidement, en réduisant le risque d'épidémies de MST (qui diminuent les capacités de reproduction). Des analyses plus poussées sont nécessaires, mais d'ores et déjà, les MST s'ajoutent à la longue liste des facteurs naturels (tels que la ménopause, qui rend la compétition masculine pour trouver une femme fertile particulièrement difficile, voir S&V n° 1179, p. 12) qui pourraient avoir favorisé la monogamie dans les sociétés humaines. **E.A.**



# DOUCHE FROIDE POUR LES MOUSTIQUES

## LAVE-GLACE ÉTÉ DÉMOUSTIQUANT

Nettoie, dégraisse et  
démoustique les pare-brise.  
Parfumé. Prêt à l'emploi.  
5 L, soit 0,7 € le litre.

**TECH9**  
**3€50**



Parce que la conduite devrait toujours être un plaisir, les experts de l'auto E.Leclerc ont créé Tech9, une gamme de produits aussi performante sur le prix que sur la technologie. Des produits d'entretien jusqu'aux balais d'essuie-glaces, avec Tech9 vous êtes toujours prêt à prendre la route.



**OFFRE VALABLE DU 20 JUIN AU 25 JUILLET 2016.** Pour connaître la liste des magasins participants, les dates et les modalités, appelez :

ALLO E.Leclerc

N°Cristal 09 69 32 42 52

APPLIC NON BURTAQ

Du lundi au samedi de 8h30 à 19h sauf les jours fériés et de 8h30 à 18h les veilles de jour férié.



^ Le robot Star a réussi à recoudre seul des intestins de porc... et mieux qu'un chirurgien !

CHIRURGIE

# UN NOUVEAU ROBOT CHIRURGIEN OPÈRE TOUT SEUL

Les chirurgiens doivent-ils craindre pour leur emploi ? Pour la première fois, un robot entièrement autonome a démontré sa supériorité sur l'humain pour opérer sur des tissus mous : testé notamment sur des porcs, il a recousu des intestins avec plus de précision que des chirurgiens expérimentés. Une première, car les robots autonomes ne sont pour l'instant utilisés en clinique que sur des tissus rigides, comme l'os. En effet, les tissus mous changent de forme durant l'opération, ce qui exige d'adapter ses mouvements à chaque instant. Doté de cette faculté, ce robot

baptisé Star, développé par des médecins et des chercheurs américains, permet d'envisager des interventions entièrement robotisées pour des indications beaucoup plus variées (résection d'une tumeur, ablation de l'utérus...). "Nous allons encore améliorer le système", promet Peter Kim, qui a dirigé les recherches. Il faudra notamment réussir à s'affranchir des marqueurs fluorescents qui doivent actuellement être placés sur les tissus pour aiguiller le robot. "Nous espérons lancer des essais cliniques d'ici deux à trois ans", assure le chirurgien. **E.A.**

## COCKTAILS DANGEREUX

40 % des personnes sous benzodiazépines (anxiolytiques, somnifères...) consomment en même temps des médicaments susceptibles de provoquer des interactions à risque, selon une étude basée sur les données de l'assurance maladie. **C.T.**

## ENDOMÉTRIOSE ET FAUSSES COUCHES : UN RISQUE AVÉRÉ

L'endométriose, une maladie inflammatoire touchant l'utérus, accroît le risque de fausse couche de 10 % (étude de l'Inserm). Cet effet déjà suspecté n'avait jamais été mesuré aussi précisément. **C.T.**

## DES "CHAMPIS" CONTRE LA DÉPRESSION

Une étude suggère que la psilocybine, l'une des molécules actives des champignons hallucinogènes, agirait sur les dépressions résistant aux traitements classiques. Menée sur douze patients, cette expérience mérite d'être confirmée. **C.T.**

MICROBIOLOGIE

## Un déséquilibre bactérien sur le crâne donne des pellicules

D'après des chercheurs de Shanghai, la cause des pellicules est à rechercher du côté des bactéries du cuir chevelu, et non des champignons comme on le croyait jusqu'ici. C'est le déséquilibre entre les deux principales familles de bactéries, staphylocoques et propioniques, qui est incriminé, les premières prenant le dessus sur les têtes sujettes aux pellicules. Rééquilibrer la flore bactérienne du cuir chevelu pourrait aider la moitié de la population à se débarrasser de ce disgracieux problème. **O.C.**



> Une prolifération de staphylocoques serait responsable de ce désagrément capillaire.

# ALUMINIUM, NICKEL CHROME

Parce que la conduite devrait toujours être un plaisir, les experts de l'auto E.Leclerc ont créé Tech9, une gamme de produits aussi performante sur le prix que sur la technologie. Des produits d'entretien jusqu'aux balais d'essuie-glaces, avec Tech9 vous êtes toujours prêt à prendre la route.

## NETTOYANT JANTES

Dégraisse et nettoie.  
Elimine les résidus et dépôts de plaquettes de frein.  
500 ml, soit 8,20€ le litre.

**TECH9**  
**4€10**



**OFFRE VALABLE DU 20 JUIN AU 25 JUILLET 2016.** Pour connaître la liste des magasins participants, les dates et les modalités, appelez :

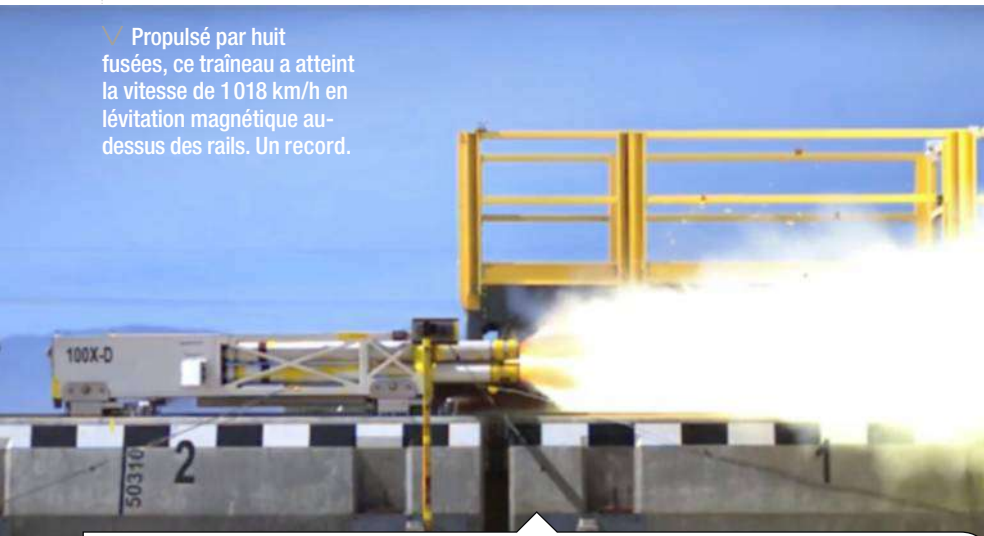
ALLO E.Leclerc

N°Cristal 09 69 32 42 52

APPEL NON SURTAXE

Du lundi au samedi de 8h30 à 19h sauf les jours fériés et de 8h30 à 18h les veilles de jour férié.

Propulsé par huit fusées, ce traîneau a atteint la vitesse de 1 018 km/h en lévitation magnétique au-dessus des rails. Un record.



ARMEMENT

## LA SUSTENTATION MAGNÉTIQUE FRANCHIT LES 1 000 KM/H

3, 2, 1... feu! Une explosion, et ce traîneau s'est élancé à 1 018 km/h sur les rails de la base militaire d'Holloman, au Nouveau-Mexique (Etats-Unis), laissant sur son passage un immense nuage de poussière. L'Armée de l'air américaine vient de pulvériser un record de vitesse avec un véhicule à sustentation magnétique, le dernier (600 km/h) étant détenu par

un train Maglev au Japon. Ces engins ont pour particularité de léviter à quelques centimètres au-dessus des rails grâce à une puissante force électromagnétique. L'absence de frottements leur permet d'atteindre des vitesses très élevées. Mais si ce traîneau va aussi vite, c'est parce qu'il est bien plus petit et léger (900 kg) qu'un train (plusieurs cen-

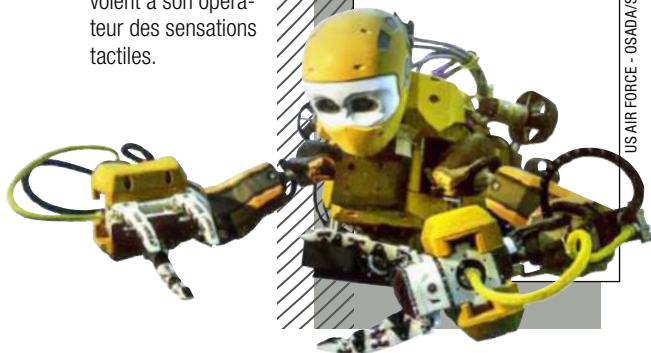
taines de tonnes) et qu'il est propulsé par des fusées. Il n'est donc pas destiné au transport de voyageurs. Quel intérêt alors? "Il nous offre la possibilité de tester des systèmes d'armes sans trop de vibrations", explique le lieutenant-colonel Shawn Morgenstern. Autrement dit, dans des conditions semblables à celles d'un vol. **L.B.**

ROBOTIQUE

## Un nageur humanoïde va explorer les abysses

Ce robot, conçu par des chercheurs de l'université Stanford, devrait permettre des explorations sous-marines jusqu'à 1 000 m de profondeur. Piloté depuis la surface, Ocean One est comme le prolongement de son opérateur qui, équipé d'une vision en 3D, plonge virtuellement avec le robot. Le pilote bénéficie en outre de la technologie de retour haptique: il ressent ce que la machine touche grâce à une manette qui guide les deux bras du robot tout en transmettant en retour la résistance des objets avec lesquels ses "mains" entrent en contact. De nouvelles perspectives pour l'archéologie sous-marine en eau profonde. **S.F.**

> Les "mains" d'Ocean One renvoient à son opérateur des sensations tactiles.



US AIR FORCE - OSADA/SEGUN/DRASSMI

# 5 nanomètres

C'est la taille du plus petit thermomètre au monde: il est 20 000 fois plus fin qu'un cheveu! Créé par des chercheurs de l'université de Montréal, il est constitué d'ADN qui se plie et se déplie à certaines températures, que l'on peut donc déduire des pliages successifs. De quoi mesurer, par exemple, les variations de température à l'intérieur de nos cellules. S.F.



# À BOIRE POUR VOS CHEVAUX

Parce que la conduite devrait toujours être un plaisir, les experts de l'auto E.Leclerc ont créé Tech9, une gamme de produits aussi performante sur le prix que sur la technologie. Des produits d'entretien jusqu'aux balais d'essuie-glaces, avec Tech9 vous êtes toujours prêt à prendre la route.

## HUILE MOTEUR 10W40

Huile semi-synthèse.  
Existe en Diesel ou Essence.  
5 L, soit 2,78 € le litre.

**TECH9**  
**13€90**



**OFFRE VALABLE DU 20 JUIN AU 25 JUILLET 2016.** Pour connaître la liste des magasins participants, les dates et les modalités, appelez :

ALLO E.Leclerc

N°Cristal 09 69 32 42 52

APPLIC NON BOUTEY

Du lundi au samedi de 8h30 à 19h sauf les jours fériés et de 8h30 à 18h les veilles de jour férié.



✓ Enrobée dans un gel en polymère, cette batterie dure 40 fois plus longtemps.

ÉNERGIE

# UNE BATTERIE BAT DES RECORDS DE LONGEVITÉ

Deux chercheurs en chimie de l'université de Californie (UCI) ont mis au point une nouvelle technologie de batterie à base de nanofils d'or enveloppés de dioxyde de manganèse, qui pourrait bien durer longtemps... très longtemps. Le principe: adjoindre à l'électrolyte un gel en polymère, du polyméthacrylate de méthyle (qui constitue le Plexiglas), évitant ainsi la fracturation des nanofils présents dans la batterie. Très conducteurs, ces nanofils sont en effet très fragiles. Ils résistent mal aux charges répétées et finissent inexorablement par se fracturer. Pas cette fois!

La doctorante qui a fait la découverte par hasard (en manipulant les fils avec ses doigts recouverts de gel!) a ainsi rechargé-déchargé la batterie jusqu'à 200 000 cycles sans détecter de perte de puissance ni d'anomalie... Là où les batteries Li-ion actuelles sont à la peine au bout de 5 000 à 6 000 cycles. Les chercheurs expliquent que la substance gluante, en plastifiant l'oxyde métallique, lui donne plus de souplesse, ce qui empêche sa détérioration. A la clé: l'espoir d'un accroissement phénoménal de la longévité des prochaines générations de batteries. **E.T.-A.**

MATÉRIAU

## Un béton sans cuisson promet moins de CO<sub>2</sub>

Une entreprise française, Argilus, vient de déposer un brevet pour un nouveau béton qui ne nécessite pas de cuisson pour sa fabrication. Son principal atout: un bilan carbone drastiquement réduit avec 20 fois moins d'émissions de CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère. Pour y parvenir, Argilus a créé un nouveau ciment, baptisé HP2R, à base d'argile et de géopolymères. Mélangé avec de l'eau et avec n'importe quel type de sable (voire du chanvre), il forme un mélange aussi résistant que du béton traditionnel. **E.T.-A.**

> Ce casque capte et analyse la fréquence propre à chaque individu.



BIOMÉTRIE

## La fréquence intracrânienne pourrait servir d'identifiant

Les universités allemandes de Stuttgart et Saarland et l'institut Max-Planck ont développé le prototype d'un casque qui capte et analyse la fréquence intracrânienne. Cette donnée permettrait à terme d'identifier un individu. Comment? Des haut-parleurs intégrés au casque envoient durant une seconde un son qui traverse le crâne par les os. Le signal est ensuite réceptionné par un capteur, identifiant la fréquence, ainsi que la personne qui y est associée. Ce dispositif, qui ne fonctionne pas dans un environnement trop sonore, a toutefois déjà permis d'identifier 10 individus différents. **E.T.-A.**

# Nous créons de la chimie pour que le compost aime le plastique.



La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables. Ce n'est pas le cas des plastiques ecovio® de BASF, qui disparaissent complètement lorsqu'ils sont compostés dans des conditions contrôlées. L'utilisation de sacs compostables pour ramasser les déchets organiques rend leur élimination plus propre et pratique. Plutôt que de terminer dans une déchetterie, ils se transforment en précieux compost. Quand le sac plastique que vous utilisez aujourd'hui est synonyme de futur plus propre pour l'environnement, c'est parce que, chez BASF, nous créons de la chimie.

[wecreatechemistry.com](http://wecreatechemistry.com)

 **BASF**  
We create chemistry

**NOUVEAU**

## Quelle heure est-il à Rio ?

Référez-vous à l'heure partout dans le monde avec les bordures du cadran qui affichent 29 grandes villes du monde et l'image du globe en plein cadran. Idéale pour les voyageurs, cette montre dispose de deux cadrans analogiques, un dateur, la fonction alarme pour organiser vos journées et une résistance jusqu'à 100 mètres de profondeur marine.

**Chic et élégante !**



## Montre Casio Adventure

FONCTIONNALITÉS : FONCTION D'HEURE UNIVERSELLE. AFFICHAGE DE LA DATE. ALARME. NÉOBRITE : LES AIGUILLES ONT UN REVÊTEMENT FLUORESCENT. ÉTANCHÉITÉ : 100 M (10 ATM). VERRRE MINÉRAL. MATIÈRE DU BOÎTIER : ACIER. MOUVEMENT : QUARTZ. FOND DE BÔTIER VISSÉ. FERMOIR DE SÛRETÉ : BOUCLE DÉPLOYANTE. AFFICHAGE : ANALOGIQUE. DIMENSIONS : H : 51,6 MM X L : 48,8 MM X P : 11,6 MM. LIVRÉE AVEC ÉCRIN ET CERTIFICAT DE GARANTIE. MÉCANISME GARANTI 2 ANS. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.

**CASIO**

PAIEMENT  
3x SANS  
FRAIS

**199 €**  
seulement!

OU  
**3x 66,33 €**

LIVRAISON RAPIDE  
**COLISSIMO**  
OFFERTE

## Construisez une voiture à air comprimé !

LE KIT DE CONSTRUCTION  
**29,90 €**  
seulement

Simple et ludique, ce kit de montage vous permet de réaliser une voiture fonctionnant à l'air comprimé, l'énergie gratuite par excellence et non polluante ! Actionnez ensuite sa pompe à air. Votre voiture se met à rouler à la vitesse de 15 km/h sur une distance de 50 mètres.

## Kit de construction voiture à air comprimé

ENVIRON 100 PIÈCES À MONTER. MATIÈRE PLASTIQUE ET MÉTAL.



## PROTÉGEZ VOUS !

**NOUVEAU**



**Blindage spécial**  
**Fabrication européenne,**  
**testé en laboratoire**

Les étuis SECVEL® empêchent la lecture et le piratage des données à distance et protègent vos différentes cartes contre la démagnétisation, le pliage, la chaleur et les rayures. Il est conçu pour loger un passeport de dimensions standard et jusqu'à 4 cartes type cartes de crédit, cartes d'identité ou permis de conduire RFID/NFC à piste magnétique. Le tout avec une protection optimale !

**Lot de 2 porte passeport sécurisés\* - 24,90 €**

DIM. 88 x 125 MM. TECHNOLOGIE BREVETÉE SECVEL®. MATIÈRE : PVC, PLASTIQUE SANS PHALATES. FABRICATION EUROPÉENNE.

\* disponible à l'unité sur [laboutiquescienceetvie.com](http://laboutiquescienceetvie.com)

## Spécial anti PV !

Cet outil d'aide à la conduite vous alerte par des annonces vocales à l'approche d'une « zone dangereuse ou à risques » si vous dépassez la vitesse limite autorisée. Il affiche aussi sur son écran votre vitesse réelle et la vitesse maximale autorisée.



- 100% légal !
- L'avertisseur de radar sans abonnement !



## Outil d'aide à la conduite Inforad v6 - 49,90 €

MODULE GPS : SIRF STAR III 20 CANAUX. ADAPTATEUR ALLUME-CIGARE USB. CÂBLE USB / MINI USB. TEMPS DE RÉACTUALISATION : 1 SECONDE. ALARME VOCALE ET VISUELLE. PASTILLE DE FIXATION. AUTONOMIE DE LA BATTERIE 7 H. DIM. 9,9 x 6,6 x 2,4 CM. POIDS : 94 G. MISE À JOUR GRATUITE. NORME NF. GARANTIE 2 ANS. ÉCO-PARTICIPATION INCLUSE.





## Interdiction du glyphosate

# LE PESTICIDE QUI EMPOISONNE LA SCIENCE

Cancérogène, perturbateur endocrinien, neurotoxique ? Les indices s'accumulent. Pourtant, le glyphosate divise les agences scientifiques. Et Bruxelles hésite à l'interdire. L'enquête d'**Yves Sciama**.

Il s'appelle glyphosate et c'est la molécule herbicide la plus utilisée dans le monde : sous différentes marques, dont la plus connue est le Roundup, il s'en épand chaque année quelque 825 000 tonnes sur la planète (10 000 en France). Son rôle ? Tuer les mauvaises herbes et favoriser les cultures, dans les champs ou dans nos jardins. Avec quels risques pour la santé des agriculteurs, de ceux qui cultivent leur potager derrière leur maison ou de toute la population qui côtoie ou consomme des produits traités avec

du glyphosate ? Plus de quatre décennies après sa mise sur le marché en 1974 par Monsanto, il devrait être facile de répondre à cette question. D'autant plus que le glyphosate a fait l'objet de milliers de publications scientifiques !

Et pourtant, sur cette question, la Commission européenne semble aujourd'hui incapable de trancher. Alors que l'autorisation de sa commercialisation – renouvelable tous les quinze ans – arrive à son terme sur le continent le 30 juin, faut-il en profiter pour la bannir définitivement ? Ou au contraire

prolonger son utilisation ? Mais combien d'années et avec quelles restrictions ? A l'heure où nous écrivons, Bruxelles semble tétanisée par ce dossier entre incertitude scientifique et jeu d'influences des producteurs de pesticides.

Petit rappel en passant : le glyphosate est toxique. Cela ne souffre aucun doute ! Que ce soit pour l'animal ou pour l'homme, sa toxicité est même assez bien quantifiée : les tests sur animaux obligatoires auxquels sont astreints les industriels, effectués dans le cas



1995  
67 078 t

1994  
56 296 t

En 20 ans,  
la consommation  
mondiale de  
glyphosate  
a explosé

2014  
825 804 t

2012  
718 600 t

2010  
652 486 t

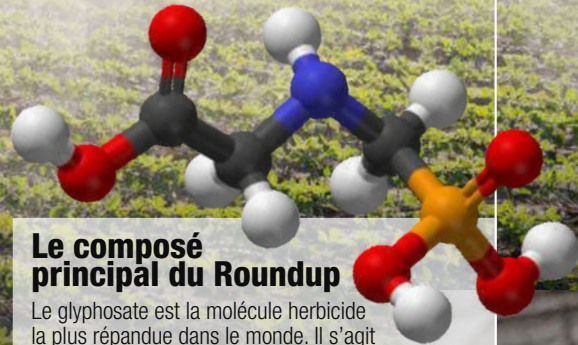
2005  
402 350 t

2000  
193 485 t

**90%**

C'est la proportion de glyphosate utilisé dans l'agriculture. Les 10% restants se trouvent dans les désherbants des particuliers.

SOURCE : BENBROOK, ENVIRONMENTAL SCIENCES EUROPE, 2016



### Le composé principal du Roundup

Le glyphosate est la molécule herbicide la plus répandue dans le monde. Il s'agit d'un dérivé de la glycine, acide aminé composé de phosphore (en orange), d'hydrogène (en blanc), d'oxygène (en rouge) d'azote (en bleu) et de carbone (en noir).



→ du glyphosate sur de nombreuses espèces (rats, souris, lapins, chèvres, etc.), ont permis d'établir une DL50 (dose létale pour un individu sur deux, voir encadré p.45) d'environ 1 gramme par kilogramme de poids. Ces tests révèlent aussi une toxicité chronique, qui se manifeste à plus faible dose en cas d'exposition répétée durant des semaines ou des mois (les tests les plus longs durent deux ans). Ainsi qu'un fort pouvoir irritant pour les yeux, et dans une moindre mesure pour la peau.

## CANCÉROGÈNE OU PAS ?

Il n'y a là en soi, cependant, nullement de quoi interdire ni même blâmer le glyphosate. Car la toxicité, en chimie, et bien au-delà des pesticides, est la propriété la plus banale. Eau de Javel, vinaigre, shampoing, café... il n'y a presque aucune substance de notre quotidien dont l'absorption ne provoque des effets graves au-dessus d'une certaine dose. La question est justement d'établir ces doses... et de définir la nature des dégâts.

Pour comprendre l'imbroglie scientifico-européen autour du glyphosate, il faut s'intéresser plus précisément au risque de cancer. Tout commence en 2015. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), une agence de l'OMS, décide de ré-examiner les données disponibles sur la molécule,

comme elle le fait régulièrement pour de nombreuses substances, notamment lorsque leur utilisation progresse (la consommation de glyphosate a plus que doublé au cours de la dernière décennie).

Son avis ? La substance doit désormais être classée dans la catégorie des "cancérogènes probables".

Sauf que deux autres organismes officiels, l'Agence européenne pour la sécurité alimentaire (EFSA), puis un groupe mixte OMS/FAO (le Joint Meeting on Pesticide Residues), vont prendre position contre cet avis. Eux revendiquent dans de nouveaux rapports l'innocuité de la molécule.

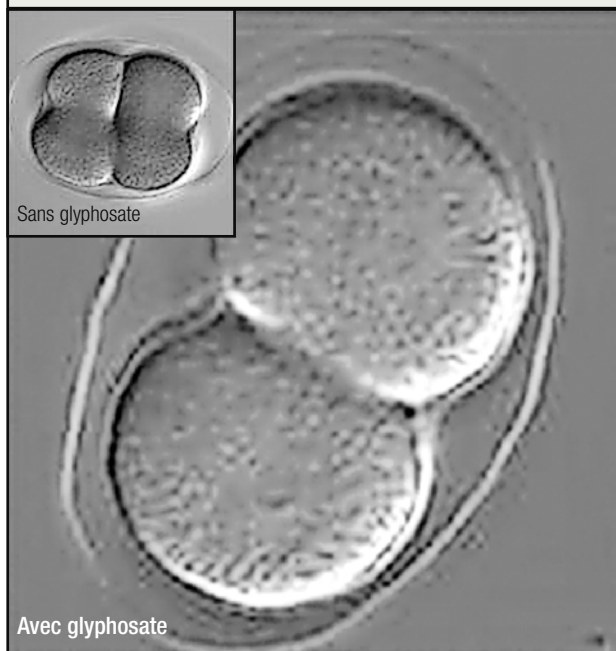
Tout au long de l'année, le ton monte entre les deux camps. "J'ai été médusé par la virulence de nos contradicteurs", rapporte Christopher Portier, qui a dirigé l'expertise du CIRC, avant d'adresser une lettre cosignée par 89 autres scientifiques à la Commission européenne pour défendre ses conclusions. *J'ai par exemple été traité de 'scientifique-Facebook' par le directeur de l'EFSA devant le Parlement européen, comme si les signatures des autres scientifiques étaient assimilables à des 'likes'.*

Christopher Portier n'est pourtant pas n'importe qui : membre de l'Académie des sciences américaine, bardé de récompenses, il a occupé de nombreuses hautes fonctions outre-Atlantique, dont celle de directeur du programme national de

## Trois menaces bien réelles

### 1. Le risque cancérigène

Le risque de cancer est le plus âprement débattu, mais pas forcément le plus préoccupant pour la santé publique. Ici, le professeur Robert Bellé (université Pierre-et-Marie-Curie) et son équipe montrent un effet du glyphosate sur la division des cellules embryonnaires d'oursin qui pourrait, en induisant une génotoxicité, jouer un rôle dans l'apparition de cellules cancéreuses.



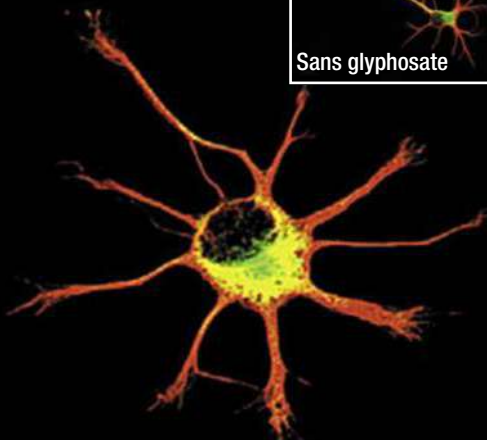
toxicologie. Piqué au vif, il n'hésite plus à affirmer que, "comme cela arrive souvent aux agences de régulation de par le monde, l'EFSA a tendance à oublier qu'elle est chargée de réglementer les produits chimiques et non de les promouvoir".

Quelle que soit la virulence des affrontements sur la cancérigénicité du glyphosate, il faut garder à l'esprit que ce problème de

santé publique n'est peut-être pas le plus important ! La plupart des spécialistes jugent en effet, à l'instar de Bernard Salles, directeur de l'unité Toxalim de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), que "si effet cancérigène du glyphosate il y a, ce que je n'exclus pas, cet effet est forcément modeste ; s'il y avait des effets forts, on les aurait déjà vus". Ici, les



Sans glyphosate



Avec glyphosate

## 2. Le risque neurotoxique

Ce risque est prouvé dans son principe : le glyphosate pénètre bien dans le cerveau. Reste à trouver la dose à partir de laquelle l'effet délétère se manifeste, en particulier chez l'enfant. Des chercheurs argentins ont exposé des cellules embryonnaires neuronales de l'hippocampe à des doses fortes mais sublétales de glyphosate (4 g/l). Ils ont constaté un retard dans l'apparition des axones et des dendrites (qui conduisent l'influx nerveux), puis un ralentissement net de leur croissance et un déficit dans le nombre de leurs arborescences.

quarante ans d'accumulation de données sur le glyphosate jouent donc plutôt en sa faveur...

En réalité, sur le cancer, les divergences scientifiques prennent parfois un caractère très pointu. Les milliers d'études examinées par les experts (portant sur divers animaux, sur des cultures cellulaires, épidémiologiques...) se contredisent souvent, au moins en par-

tie. Il faut juger lesquelles sont les plus dignes de foi, et lesquelles contiennent des failles méthodologiques justifiant qu'on leur prête moins d'attention.

C'est généralement là que le CIRC et l'EFSA effectuent des choix différents. "Le CIRC n'examine que les articles scientifiques publiés et relus par des pairs, indique Christopher Portier, et pas les études confi-

dentielles des industriels. Nous ne prenons donc pas en compte une part des études, en particulier animales." Ces dernières sont généralement menées par les industriels. D'abord parce que la réglementation les y oblige; ensuite, parce qu'un protocole d'étude de 200 rats sur deux ans coûte plusieurs millions d'euros – bien trop cher pour la recherche publique. →

## 3. Le risque endocrinien

Le risque de perturbation endocrinienne est avéré mais mal quantifié. Il est invoqué par la France pour interdire le glyphosate. Robin Mesnage et ses collègues du King's College londonien ont mis en évidence, sur des cultures cellulaires (ici, de tissu mammaire humain), un effet œstrogénique d'un pesticide au glyphosate, autrement dit un effet féminisant. Explication : les récepteurs cellulaires "confondraient" la molécule du glyphosate avec l'hormone œstrogène à cause de similitudes de structure.



## IL Y A DOSE... ET DOSE

L'Europe a mis en place des seuils de sécurité toxicologiques. S'il s'avérait que certains dangers du glyphosate avaient été sous-estimés, ces doses acceptables seraient abaissées.

► **Dose de référence aiguë** (DRfA ou ARfD en anglais) : 0,5 mg/kg de poids corporel.

C'est la quantité maximum de substance active qui peut être ingérée pendant une journée ou un repas sans effet dangereux pour la santé. Récemment, un groupe de toxicologues a proposé d'abaisser la dose de référence aiguë à 0,175 mg/kg.

► **Dose journalière admissible** (DJA ou ADI) : 0,5 mg/kg, durant toute la vie, en théorie.

► **Dose sans effet nocif observé** (DSE ou NOAEL) : 50 à 100 mg/kg selon les espèces. C'est la dose la plus élevée ne produisant aucun effet nocif chez l'animal de laboratoire (elle peut avoir des effets biologiques mais bénins).

► **Limite maximale de résidus** (LMR) : 10 mg/kg pour le blé, 20 mg/kg pour le soja, l'avoine, l'orge, 0,1 µg/l pour l'eau. C'est la dose de résidus autorisée sur les produits destinés à la consommation humaine.

→ Or ces données produites par les entreprises sont confidentielles, pour empêcher les concurrents d'y puiser des idées! Pourtant, comme le souligne Robert Barouki, directeur de l'unité Pharmacologie, toxicologie et signalisation cellulaire de l'Inserm à Paris: *"Quand une molécule est dans le domaine public depuis quinze ans, je ne vois pas l'intérêt industriel de garder secrets ses effets sur les animaux."* Le CIRC pourrait d'ailleurs y avoir accès, mais à condition de respecter la confidentialité, ce qu'il refuse.

## PUBLIC CONTRE PRIVÉ

A l'inverse, pour l'EFSA, nombre d'études universitaires sont jugées fragmentaires et imparfaites, et ont moins de poids que les travaux industriels, présumés plus fiables et homogènes.

Sauf que les liens des experts de l'EFSA avec l'industrie ont été critiqués à plusieurs reprises ces dernières années. Un rapport d'une ONG en octobre 2013 révélait que près de 60% d'entre eux avaient au moins un conflit d'intérêts (une source de revenu tirée d'un secteur commercial couvert par leur expertise). Sur 21 comités réunis par l'EFSA sur différentes questions (des OGM aux seuils toxicologiques, en passant par l'aspartame), seuls deux avaient un président sans lien avec l'industrie. Fait exceptionnel, le Parlement européen, excédé par ces scandales à répétition, a même coupé les vivres à l'EFSA durant six mois en 2012. Hélas, sans conséquence notable.

D'ailleurs, les divergences méthodologiques n'expliquent pas la violence des échanges entre

## Des alternatives encore plus toxiques

Si le glyphosate était interdit, les utilisateurs pourraient choisir un herbicide parmi les 130 autorisés dans l'Union européenne: isoproturon (Arélon), dicamba, 2,4-D... sachant que ces deux derniers sont plus toxiques que le glyphosate!



l'EFSA et le CIRC. La question centrale est en réalité économique! Une des spécificités de la réglementation européenne des pesticides, parmi les plus protectrices au monde, est que si un pesticide s'avère cancérigène, à n'importe quelle dose, il doit être interdit; c'est ce que l'on appelle "le critère guillotine". Cette disposition est défendue par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), qui rappelle que le rôle du régulateur

est avant tout de protéger la population. *"Or on sait que pour le cancer, il n'y a pas vraiment de dose-seuil"*, estime Françoise Weber, directrice générale adjointe de l'Anses. Référence à de nombreuses études qui suggèrent que si l'on abaisse l'exposition à un cancérigène (notamment les rayonnements ionisants), on réduit le risque sans l'éliminer...

Autrement dit, si l'idée que le glyphosate est cancérigène s'imposait, ce serait la "guillotine", l'interdiction pure et simple. Mais comme le glyphosate est tombé dans le domaine public en 2000, tous les grands industriels de la chimie (Monsanto, Syngenta, Bayer, BASF...) en produisent désormais,



### CHRISTOPHER PORTIER

Chercheur en biostatistiques,  
directeur de l'expertise du CIRC

*L'EFSA oublie qu'elle est chargée de réglementer les produits chimiques et non de les promouvoir*

### BERNARD SALLES

Directeur de l'unité  
Toxalim de l'Inra

*Si le glyphosate a un effet  
cancérigène, cet effet est  
forcément modeste*





et font donc bloc pour le défendre.

Le problème, c'est qu'il n'y a pas que le cancer ! Perturbation endocrinienne, risques neurologiques... "Il ne faut pas dissimuler les incertitudes ni les motifs d'inquiétude", reprend Robert Barouki. Qui sont multiples et d'ordres différents. Le scientifique cite notamment une étude parue en février 2016 et signée de toxicologues reconnus comme John Myers, titrée sans équivoque *Inquiétudes sur l'usage des herbicides au glyphosate et risques associés aux expositions.*

Car comme le rappelle Gérard Lasfargues, directeur général de l'Anses, "les connaissances évoluent sans cesse. Par exemple, aux Etats-Unis, une cohorte de plus de 100 000 agriculteurs est suivie depuis des années, et commence tout juste à produire des résultats [sur une possible montée de certains lymphomes]. Autre exemple : la perturbation hormonale [la capacité à se fixer sur des récepteurs hormonaux et à modifier leur activité], que l'on ne regardait pas autrefois, fait désormais l'objet de nombreuses pu-

blications, dont certaines mettent en cause le glyphosate. Et il y a d'autres problèmes." En particulier, le fait que le glyphosate, lorsqu'il se dégrade spontanément, peut produire un composé nommé AMPA (acide aminométhylphosphonique), qui s'avère plus toxique et durable que la molécule d'origine.

Il faut aussi ajouter à cette liste la question de la neurotoxicité : selon Philippe Grandjean, professeur de Harvard, la capacité du glyphosate à traverser la barrière hémato-encéphalique a été démontrée (à partir d'empoisonnements). "Cela signifie que si une femme est exposée durant sa grossesse, le fœtus le sera également, alors que son cerveau est beaucoup plus vulnérable que celui de l'adulte, et donc sensible à des doses plus faibles, quoique encore inconnues." Une équipe argentine a mis en évidence récemment des arborescences moins nombreuses

sur des neurones exposés au glyphosate durant leur développement, semblant confirmer ce jugement.

En dépit de toutes ces interrogations, à l'EFSA européenne, le propos est toujours résolument rassurant. "Les seuils que nous avons définis couvrent toutes les atteintes à la santé humaine, indique José Tarazona, chef de l'unité Pesticides de l'EFSA. Ils ont été validés à l'unanimité par nos experts et acceptés par tous les Etats membres. Par souci de protection du consommateur, nous avons en outre réclamé un nouveau seuil, jugé inutile jusque-là, la dose de référence aiguë." (Voir encadré p. 45.) Le régulateur européen précise aussi que dans les usages examinés jusqu'à présent, le public était toujours dans la zone de sécurité : "Pour le moment, il n'y a pas de sujet d'inquiétude potentiel en Europe." Autrement dit, "pour l'EFSA, c'est circulez, il n'y a rien à voir", résume Gérard Lasfargues. →

## Le cas de la France

La France consomme environ 10 000 tonnes de glyphosate par an, dont 2 000 t par le grand public. Mais la molécule y est sur la sellette. D'abord, l'Anses a engagé une procédure d'interdiction de tous les herbicides combinant glyphosate et tallow-amine, un coformulant qui s'est avéré dangereux. Ensuite, la ministre de la Santé, Marisol Touraine, a annoncé son intention d'interdire le glyphosate en France à cause de ses effets hormonaux... tandis qu'à l'échelon européen, la France milite pour la non-reconduction de l'homologation du glyphosate. Tous les pesticides de synthèse sont par ailleurs appelés à disparaître des jardinerie d'ici à 2019 (loi Labbé).

Il est un sujet, cependant, sur lequel toutes les agences tombent d'accord : la grande inconnue de "l'effet cocktail". "Le glyphosate, en effet, n'est jamais utilisé tel quel, rappelle Bernard Salles (Inra), parce que cette molécule n'entre pas dans la plante par elle-même. Il faut pour cela l'associer à une autre molécule, un surfactant, et puis souvent à des antimousse, des colorants, des agents pour changer le pH; bref, un herbicide, c'est une soupe." Or, il est désormais bien connu qu'il peut y avoir des effets de syner-

est apparu que certains sont au moins aussi toxiques.

"Nous avons lancé un groupe de travail sur ce sujet, indique Françoise Weber (Anses), pour traiter à la fois les questions de méthode et, en prenant ces coformulants un par un, voir quelles combinaisons posent problème." L'Anses a d'ores et déjà demandé l'interdiction en France de tous les pesticides (une centaine) contenant à la fois du glyphosate et de la tal-low-amine, un coformulant manifestement problématique. Mais la complexité demeure, d'autant plus

Au vu de tout cela, faudra-t-il revoir à la baisse les doses que l'on juge acceptables pour la population générale, comme le suggère l'article de John Myers, qui propose de les diviser par trois jusqu'à plus ample information? Faudra-t-il réévaluer la sécurité de certaines populations? Avec leurs différences de sensibilité, les agences vont devoir apporter rapidement les bonnes réponses à ces questions.

## AGENCE INDÉPENDANTE

Il est un point qui mérite cependant d'être souligné, à l'heure où l'interdiction du glyphosate est souvent évoquée, y compris par des politiques désireux de se concilier un électorat de plus en plus défiant envers les pesticides. Les incertitudes qui pèsent sur le glyphosate pèsent tout autant, voire plus, sur les molécules qui risquent de prendre sa place s'il est interdit. En effet, 130 molécules herbicides sont autorisées dans l'UE, et leur profil toxicologique n'a rien de rassurant, à l'image du dicamba et du 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique), bien moins utilisés mais plus toxiques.

Souvent plus nocifs, ces produits sont moins connus scientifiquement. Selon José Tarazona, "parmi ces molécules, le glyphosate est dans les meilleurs 10% pour la toxicité chronique, dans la moyenne pour la toxicité aiguë, et dans le meilleur tiers pour l'inhalation et l'irritation dermique".

En fait, si l'on voulait vraiment "faire le ménage scientifique" sur la dangerosité des pesticides, il faudrait reprendre toute leur évaluation; en réformant l'EFSA pour la protéger des conflits d'intérêts, et en produisant beaucoup plus de données incontestables et indépendantes. Ce que Robert Barouki, parmi d'autres, suggère de faire de la façon suivante: "Avec une toute petite taxe sur les ventes de pesticides, qui serait imperceptible vu les volumes en jeu, on pourrait financer une agence indépendante, qui mènerait des études scientifiques incontestables, ce qui s'est fait sur les rayonnements. Et on aurait enfin des données publiques qui permettraient de lever une bonne part des incertitudes actuelles."

Cependant, tout ne serait pas réglé. "Il ne faut pas se focaliser sur telle ou telle substance, mais plutôt réfléchir sur le système agricole dans lequel elle s'insère, un système qui aujourd'hui repose sur la chimie de synthèse, résume Christian Huyghe, directeur scientifique adjoint à l'Inra. L'important est de développer une agriculture différente, qui récompense la réduction des traitements chimiques et en fait un de ses objectifs." A défaut d'un vrai effort de réinvention de l'agriculture, l'interdiction du glyphosate risque d'être une mesure au mieux cosmétique, au pire contreproductive.

## Une agriculture sans herbicides est-elle possible?

**Une chose est sûre: il faudrait un changement radical des pratiques agricoles. Primo, un accroissement énorme du désherbage mécanique (labour, sarclage). Deuxio, une rotation des cultures plus fréquente (aujourd'hui il est courant de cultiver une céréale sur la même parcelle pendant des années), pour gêner les mauvaises herbes. Tertio, le développement de nouvelles variétés résistant mieux aux mauvaises herbes. De nombreuses expériences suggèrent que la perte de rendement ne serait pas catastrophique: sur son site expérimental d'Epoisses, près de Dijon, l'Inra fait du blé sur plusieurs hectares, au rendement moyen... sans aucun herbicide depuis plus de douze ans.**

gie entre molécules: deux produits, chacun en deçà de leur seuil d'activité, peuvent présenter des effets s'ils sont mélangés. Tandis que les procédures d'évaluation distinguent encore une "substance active", en l'occurrence le glyphosate, et des coformulants supposés plus ou moins inertes, il

que le public est souvent exposé à des mélanges... de mélanges, lorsque, par exemple, des résidus de pesticides différents entrent en contact dans notre flux sanguin. L'industrie pesant ici de tout son poids pour que ces questions ne lui occasionnent pas de coûts supplémentaires.



# Patagonie & Terre de Feu



EDITION 2017

ARGENTINE - URUGUAY - CHILI  
du 6 au 23 janvier 2017 depuis Paris



Embarquez avec



Croisières  
d'exception

- > Un itinéraire magnifique à faire au moins une fois dans sa vie : Buenos Aires, Ushuaïa, le Cap Horn, les fjords chiliens...
- > Un encadrement francophone et aux petits soins depuis Paris
- > Des conférences exclusives d'Emmanuel Le Bret (*Historien*), Luc Moreau (*Glaciologue*) et Pascal Picq (*Anthropologue*)
- > Un tarif avec vols depuis Paris à partir de 4 790 €\* /pers. seulement
- > **Offre spéciale : 300 € de réduction par personne pour toute réservation avant le 30 juin 2016 avec le code : SCIENCE**

En partenariat avec Celebrity Cruises®

## Nos conférenciers



Emmanuel Le Bret  
Historien



Luc Moreau  
Glaciologue



Pascal Picq  
Anthropologue

## Votre itinéraire



## DEMANDEZ LA BROCHURE

Connectez-vous sur  
[www.croisiere-patagonie.fr/sv](http://www.croisiere-patagonie.fr/sv)

Appellez au 01 75 77 87 48  
Du lundi au vendredi de 10h à 13h et de 14h30 à 18h.

Complétez, découpez et renvoyez ce coupon à :

Croisière Patagonie 2017 - 27, rue du Chemin Vert - 75011 Paris



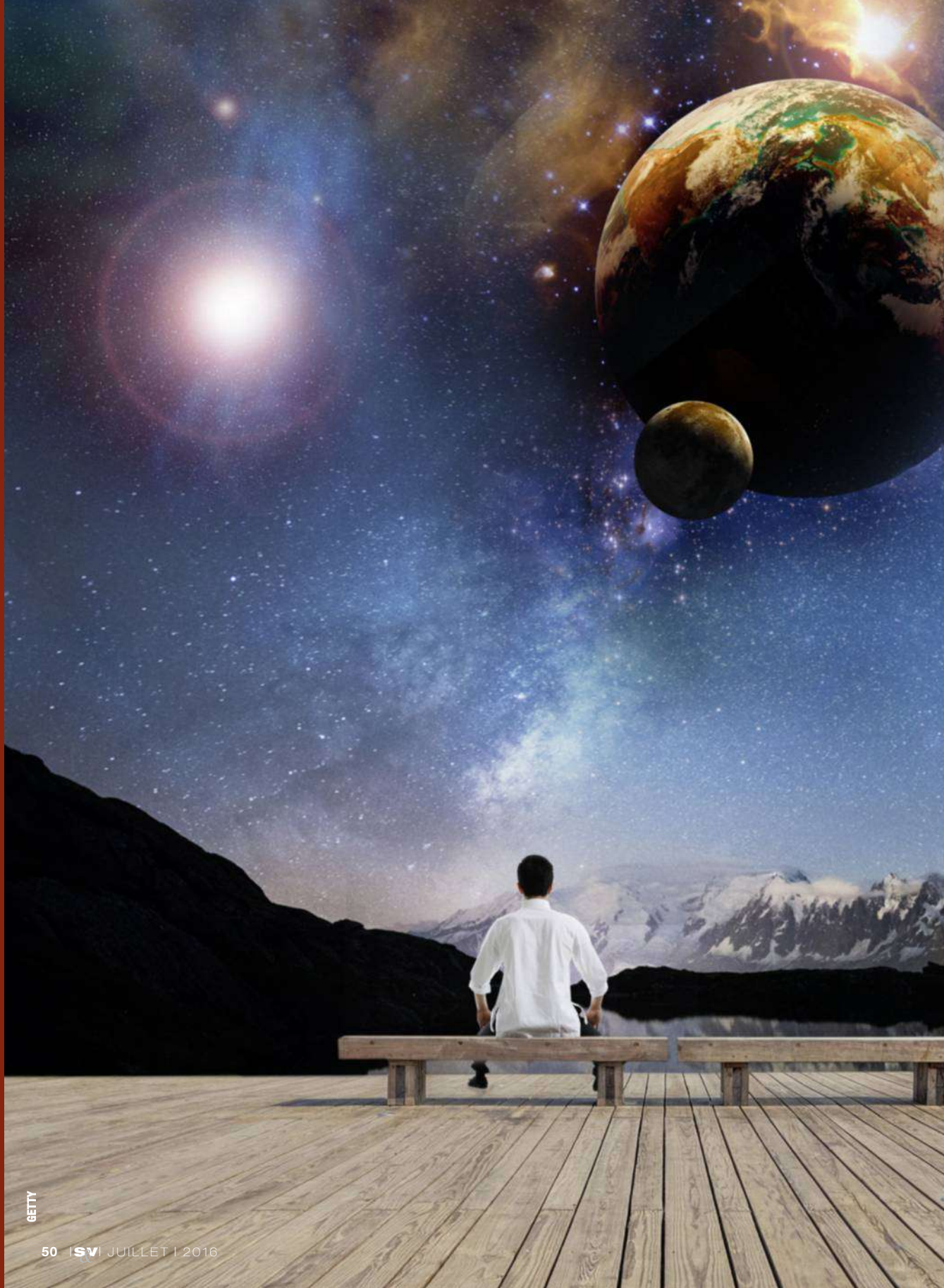
Croisières  
d'exception

Mme  M. Nom : ..... Prénom : .....  
Adresse : .....  
Code postal : ..... Ville : .....  
Date de naissance : ..... Tél. : .....  
Email : .....@.....

Vous voyagez  seul(e)  en couple

**Oui, je bénéficierai d'un prix spécial (- 300€/pers.) en cas de réservation avant le 30 juin 2016.**

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 et de rectification des données vous concernant. - Itinéraire sous réserve de modifications de l'armateur - Cette croisière est organisée par Média UP détenteur de la marque Croisières d'exception / Licence n° IM075150063 - \* Prix par personne en cabine int. catégorie 11 base double incluant les vols A/R depuis Paris, les transferts, la pension complète, les conférences, les taxes et pourboires - Programme garanti à partir de 50 inscrits - Sauf cas de force majeure - Création graphique : nutidepleine lune.fr - Crédits photos : © Celebrity Cruises, © Istock



10 LIMITES DE SCIENCE

# POURQUOI ON NE SAURA JAMAIS

Il paraît qu'il ne faut jamais dire jamais... Sauf en science ! Ce sont les scientifiques eux-mêmes qui le disent. Car malgré tous leurs efforts présents et à venir, ils savent aujourd'hui qu'ils n'auront jamais les réponses à certaines questions. Parce que celles-ci touchent à des limites observationnelles, cognitives, conceptuelles ou encore logiques. Un aveu d'impuissance ? Tout le contraire ! Le fait que la science prenne la mesure de sa propre ignorance est l'assurance de nouvelles connaissances. En attendant, ce dossier vous présente les dix plus grandes limites de science, depuis "on ne saura jamais ce que l'autre ressent" à "on ne saura jamais pourquoi". Vertige assuré.

PAR EMMANUEL MONNIER, THOMAS CAVAILLÉ-FOL, MATHIEU GROUSSON,  
ROMÁN IKONICOFF, ÉMILIE RAUSCHER, BENOÎT REY

À LA  
UNE

# ON NE SAURA JAMAIS CE QUE L'AUTRE RESSENT

Tu m'aimes? Qui pose cette question voudrait, au-delà des mots, être certain de la réponse. N'avoir aucun doute. Entrer dans la tête de l'autre pour savoir ce qu'il ressent vraiment. Las, ici s'arrête le pouvoir des sciences cognitives.

Quand bien même les neurosciences parviendraient-elles à démasquer les simulateurs, en déterminant quels réseaux cérébraux s'activent lors d'une réelle attirance, elles ne pourraient saisir de l'amour sa qualité essentielle: le ressenti tel qu'il est vécu par la personne qui aime, seule à pouvoir le décrire.

*"Il n'y a aucun moyen technique d'être dans la tête du sujet"*, rappelle le neurobiologiste et philosophe Georges Chapouthier. Si des instruments toujours plus sophistiqués, comme l'IRM, dévoilent les processus électriques ou chimiques à l'œuvre dans le cerveau, aucun n'accède aux sensations subjectives. Comment prouver qu'une activation identique, dans mon cerveau et dans celui d'un autre, déclenche un même ressenti? Il faudrait pour cela être à la fois soi et l'autre. Impossible.

*"Dans l'absolu, rien ne me prouve non plus que vous êtes réellement un être pensant..."*, poursuit Georges Chapouthier. Pensant, c'est-à-dire conscient de penser – ce fameux *cogito ergo sum* ("je pense donc je suis") sur lequel Descartes fondait la certitude, au moins, d'exister.

Sachant que le dire ne le prouve pas: doit-on croire un programme d'ordinateur qui prétend être conscient? Le scientifique ne peut affirmer qu'une chose: le comportement d'autrui et ses activations

cérébrales laissent supposer qu'il pense et qu'il est conscient. *"L'analogie comportementale et structurale fait qu'on ne doute pas que les autres hommes soient conscients"*, souligne le philosophe. Mais il ne s'agit toujours que d'une présomption de ressenti.

## LA LIMITE DE NOTRE EMPATHIE

L'intelligence artificielle pousse cette logique jusqu'au bout. *"La question de savoir si un robot a vraiment un ressenti n'a aucun sens. La vraie question, c'est plutôt: dans son comportement, est-il suffisamment crédible pour que je lui attribue un ressenti?"*, insiste Mathieu Lafourcade, au Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier.

Le débat n'est pas qu'académique: il y a plusieurs décennies, on opérât les bébés sans anesthésie, au motif qu'ils ne pouvaient avoir conscience d'une douleur qu'ils étaient incapables de verbaliser. L'empathie nous pousse aujourd'hui à interpréter au contraire leurs cris comme la traduction d'un ressenti semblable à celui d'un adulte.

Et la question se pose pour le ressenti animal. Dans un article publié en 1974, le philosophe Thomas Nagel insiste: si la science peut parfaitement décrire l'activité cérébrale d'une chauve-souris, elle ne peut pas faire partager l'expérience subjective que représente le fait d'être une chauve-souris et de percevoir le monde à l'aide d'ultrasons.

La réponse ne sera jamais connue. Quels que soient les progrès de la science, l'autre sera toujours un autre, à la fois semblable et méconnaissable. Un mystère. **E.M.**

GEORGES  
CHAPOUTHIER

Neuro-  
biologiste et  
philosophe  
français

*Dans l'absolu, rien ne peut prouver que l'autre est réellement un être pensant...*



À LA  
UNE

Une limite logique

# ON NE SAURA JAMAIS SI $1 + 1 = 2$

*“Ce que le théorème de Gödel nous apprend, c’est que nous ne pourrions jamais être sûrs que les démonstrations mathématiques ne mènent pas à des contradictions.”* Philosophe des mathématiques et logicien à l’université Paris-Ouest-Nanterre-La Défense, Denis Bonnay témoigne ainsi du fait que depuis 85 ans, ce résultat tient en respect les scientifiques.

De quoi s’agit-il ? D’une simple phrase écrite en 1931 par le logicien autrichien Kurt Gödel en langage mathématique. Traduite dans notre langage, elle dirait : *“Les mathématiques ne peuvent pas prouver leur cohérence.”* Dit plus crûment : nul mathématicien ne peut affirmer que  $“1 + 1 = 2”$  ne mènera jamais à une contradiction.

Terrible aveu de faiblesse de la reine des sciences, elle qui semblait justement tirer sa légitimité de son absence de contradiction et dont personne, depuis les Grecs, n’avait osé questionner la cohérence.

L’interprétation du théorème de Gödel continue de faire débat. *“Pour certains, cette limite concerne les mathématiques et touche donc à l’activité et à la pensée des mathématiciens”*, dit Denis Bonnay. Pour d’autres, cela prouve une limite d’expression du langage mathématique, *“mais pas de la pensée elle-même : ils considèrent que Gödel a*

*justement transcendé ce langage pour obtenir son résultat”*. Personne en tout cas ne remet en cause la rigueur du raisonnement.

Le ressort de ce théorème repose sur une fabuleuse mise en abyme des raisonnements mathématiques, digne du célèbre “paradoxe du Crétois” : *“Dis-je la vérité quand j’affirme que je suis un menteur ?”* Si c’est vrai, c’est que je mens ; si je mens, alors ça ne peut pas être la vérité...

## DES ÉNONCÉS NI VRAIS NI FAUX...

La puissance du travail de Gödel a consisté à inventer un langage permettant de coder ce type de jeu de raisonnement logique. Ce code s’écrit sous la forme de nombres entiers du type  $“5^3 \times 11^7 \times 17^{19}...”$ . Avec ce code, Gödel réussit à traduire tous les termes utilisés en arithmétique, le vocabulaire comme la syntaxe (tels les liens logique “et”, “ou”, “alors”, etc.). Et il démontre que la manipulation arithmétique de ce langage codé, via de simples additions ou multiplications, permet de refléter les raisonnements.

Avec ce code, toute proposition arithmétique devient un nombre. Une invention puissante qui sera à la base de l’informatique, dont les algorithmes ne sont que du raisonnement mathématique écrit sous la forme de 0 et de 1. Surtout, la preuve qu’un énoncé donné est vrai ou faux devient un objet mathématique en tant que tel.

*“Gödel a montré que le concept de démonstration peut être codé et donc inclus dans un raisonnement mathématique”*, explique Denis Bonnay.

Grâce à ce jeu de langage, Kurt Gödel réussit à coder l’énoncé (ressemblant à une poupée russe) “il existe un énoncé qui n’est pas démontrable”. Il ne précise pas lequel mais, grâce à un calcul sur les codes, il prouve que sa proposition est vraie. C’est un énorme coup de tonnerre !

Cet énoncé mathématiquement démontré est la preuve indubitable qu’il existe au moins un énoncé mathématique qui n’est ni prouvable ni

*Nous ne pourrions jamais être sûrs que les mathématiques ne mènent pas à des contradictions*

DENIS BONNAY

Logicien à l’université Paris-Ouest-Nanterre-La Défense

2.  $x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : A \rightarrow B, x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash u : A \Rightarrow x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash tu : B.$
3.  $x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n, x : A \vdash t : B \Rightarrow x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash \lambda x t : A \rightarrow B.$
4.  $x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : A \Rightarrow x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : \forall x A$ , where  $x$  is an individual variable which does not appear in  $A_1, \dots, A_n.$
5.  $x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : \forall x A \Rightarrow x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : A[\tau/x]$  where  $x$  is an individual variable and  $\tau$  is a  $\ell$ -term.
6.  $x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash \text{cc} : ((A \rightarrow B) \rightarrow A) \rightarrow A$  (law of Peirce)
7.  $x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : \perp \Rightarrow x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n \vdash t : A$  for every formula  $A.$

## 2.4 Realizability models

Qualifying set theory with the first order realizability theory, we write this as  $\text{ZF}_r$ , which are given by the following axioms. The approach is similar to the theory of realizability, which is a constructive extension of ZF, which is proved in [1].

Remark. In ZF, there are two membership relations:  $\in$  (which is the weak or extensional one, and which the strong one does not satisfy extensionality).

Therefore, we have two relations of inclusion:  $x \subset y \equiv \forall z (z \in y \rightarrow z \in x)$  ( $\in$ -inclusion or Z-inclusion) and  $x \subseteq y \equiv \forall z (z \in x \rightarrow z \in y)$  ( $\in$ -inclusion). Finally, we have three notions of equality: the weak one ( $x \approx y \equiv x \subset y \wedge y \subset x$  ( $\in$ -equality)); the strongest one is  $(x = y) \equiv \forall z (z \in x \rightarrow z \in y \wedge z \in y \rightarrow z \in x)$  (Leibniz equality); the middle one is  $(x \simeq y) \equiv x \subseteq y \wedge y \subseteq x$  ( $\in$ -equality).

Let us consider a *realizability algebra*  $\mathcal{A}$ , defined in a model  $\mathcal{M}$  of  $\text{ZF} + \text{V} = \text{L}$ , which is called the *ground model*. The elements of  $\mathcal{M}$  will be called *individuals* (in order to avoid the word set, if possible).

We defined, in [8], a *realizability model*, denoted by  $\mathcal{N}_{\mathcal{A}}$  (or even  $\mathcal{N}$ , if there is no ambiguity about the algebra  $\mathcal{A}$ ).



réfutable! Ce type d'énoncé, le logicien le qualifie d'"indécidable". Et dans un nouveau vertige logique, il pousse son travail de sape encore un cran plus loin.

Car Gödel montre alors qu'on peut coder une propriété englobant toutes les mathématiques. Par exemple, "tous les énoncés ont cette propriété"

ou "aucun énoncé n'a cette propriété". Cela lui permet de former la proposition "on peut démontrer que l'ensemble des énoncés mathématiques n'est pas contradictoire". Et de prouver que cette proposition est justement... indécidable.

En résumé, et malgré les emboîtements fous d'énoncés, Gödel affirme cette vérité: personne ne pourra jamais démontrer qu'il n'y a pas de contradiction dans les mathématiques. CQFD.

Si sa signification profonde n'est toujours pas tranchée, rappelle Denis Bonnay, le raisonnement est mathématiquement imparable: "Même des extraterrestres ne pourraient le nier, à moins de remettre en question tous nos écrits mathématiques, ou de contester son codage, ce qui est très peu probable." R.I.

Une limite liée aux mesures

# ON NE SAURA JAMAIS OÙ SERONT LES PLANÈTES DANS 60 MILLIONS D'ANNÉES

*“C’est une barrière absolue pour la connaissance!”* Jacques Laskar, de l’Observatoire de Paris, en est d’autant plus sûr que c’est lui qui a démontré ce résultat vertigineux : il est impossible de calculer précisément la position des planètes au-delà de 60 millions d’années – un battement de cils en regard des 4,6 milliards d’années du système solaire.

En cause ? Le chaos dans la valse des planètes, dont Jacques Laskar est le spécialiste mondial. Les astronomes le savent depuis plus de cent ans : trois corps en interaction gravitationnelle suffisent à déclencher un “chaos déterministe”. Un phénomène qui touche de nombreux domaines, dont la météo : on ne saura jamais à l’avance le temps qu’il fera dans un mois ; au bout de quelques jours, le chaos devient irrémédiable.

Un tel système est dit déterministe car des équations mathématiques (celles de la gravitation universelle de Newton, connues depuis 1687, légèrement corrigées par la théorie de la relativité d’Einstein, en 1916) décrivent parfaitement sa dynamique. Mais celle-ci échappe physiquement

aux prévisions à moyen terme à cause d’inévitables erreurs de mesure, qui s’amplifient avec le temps.

Le raisonnement de Jacques Laskar et son équipe part de la ceinture d’astéroïdes, entre Mars et Jupiter. *“Nous avons montré en 2011 que dans cet anneau, Cérès et Vesta [respectivement 0,015 % et 0,004 % de la masse terrestre] se perturbent mutuellement lors de rencontres rapprochées. Ils forment un sous-système chaotique qui provoque une erreur dans les prévisions, laquelle est multipliée par 10 tous les 50 000 ans”*, explique l’astronome.

## UN IMMENSE CHAOS GLOBAL

Imaginons que nous connaissions la position actuelle de ces deux astéroïdes avec une précision de l’ordre du diamètre d’un atome ( $10^{-10}$  m) – c’est déjà illusoire. L’approximation, multipliée par 10 au bout de 50 000 ans... atteindra 10 millions de kilomètres après 1 million d’années ! Impossible, donc, de savoir où ils se trouveront.

Or, *“ce chaos déstabilise à son tour la trajectoire de Mars”*, poursuit Jacques Laskar. L’effet est certes marginal... mais, là aussi, s’amplifie avec le temps.

*Le problème, c’est que l’erreur sur la mesure des positions est multipliée par 10 tous les 10 millions d’années*

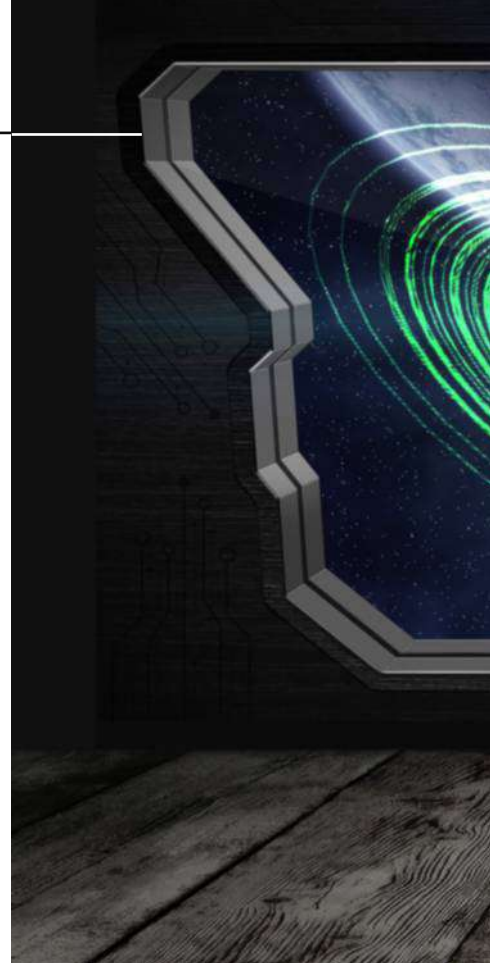
“  
JACQUES  
LASKAR  
”

Astronome à l’Observatoire de Paris

Entre 1989 et 2004, le chercheur avait calculé l’évolution des paramètres orbitaux des huit planètes du système solaire, sans inclure encore l’effet des astéroïdes : *“L’erreur sur la mesure des positions est multipliée par 10 tous les 10 millions d’années”*, résume-t-il.

Au final, en prenant en compte toutes ces données, Jacques Laskar et son équipe ont calculé qu’au-delà de 60 millions d’années, l’effet perturbateur cumulé de la ceinture d’astéroïdes sur Mars, puis de Mars sur les autres planètes, dont la Terre, entraîne l’imprévisibilité de tout le système. L’infime imprécision initiale s’est ainsi transformée en un grand chaos global !

Qui a cependant une vertu positive : *“Appliqué aux systèmes exoplanétaires, ce chaos permet d’évaluer leur stabilité et donc de quantifier leur taux d’habitabilité à moyen terme”*, explique l’astronome, qui collabore avec des chasseurs d’exoplanètes. **R.I.**







À LA UNE

4

Une limite conceptuelle

## ON NE CONNAÎTRA JAMAIS L'ANCÊTRE UNIVERSEL

Joli paradoxe : l'ancêtre de tous les êtres vivants, dénommé Luca (pour "Last universal common ancestor") est à la fois de mieux en mieux décrit... et de moins en moins probable.

L'existence de cet ancêtre unique cher aux biologistes a été postulée par Darwin en 1859. A force de comparaisons entre les branches de l'arbre du vivant, un portrait-robot théorique de cette cellule primordiale, vieille de plus de 3,5 milliards d'années, a été dressé, sous la forme d'une liste de caractères (génétiques, métaboliques...).

Dans les années 1970, le microbiologiste américain Carl Woese a

cependant imaginé que cet ancêtre ne soit pas une créature unique, mais toute une communauté disparate dans laquelle ont été "piochées" les caractéristiques nécessaires à l'apparition de notre lignage.

Cette hypothèse semble se confirmer depuis une dizaine d'années, avec la découverte de l'universalité des transferts de gènes dits "horizontaux" entre individus voisins, apparentés ou non (les transferts verticaux se faisant de parents à enfants). Une étude publiée fin 2015 par l'équipe de Marc Timme, à l'Institut Max-Planck, a présenté un modèle pointant leur importance au

moment même de l'émergence des premières espèces.

Notre arbre phylogénétique aurait donc à sa base un réseau inextricable de racines, et non un tronc unique. Même si l'ancêtre universel solitaire est un beau concept qui a permis à la science d'avancer, il n'a jamais existé en tant que tel.

E.R.

MARC  
TIMME

Physicien à  
l'Institut Max-Planck

*Avec des échanges de gènes forts, l'ancêtre commun devait donc être une communauté et pas un individu unique*



Une limite intellectuelle

# ON NE COMPRENDRA JAMAIS CE QUI DÉPASSE NOTRE ENTENDEMENT

Le trente-septième coup de la seconde partie de go qui a opposé, en mars, Lee Sedol, l'un des meilleurs joueurs de la planète, à AlphaGo, l'intelligence artificielle (I.A.) développée par Google DeepMind, fut peut-être le plus important de tous. "Créatif", "unique", "j'ai cru à une erreur", s'exclament les commentateurs. L'issue de la partie est connue.

Non contentes de réussir à battre les meilleurs joueurs de go du monde, les I.A. s'offrent aussi le luxe de les surprendre. Mais ce coup relève-t-il pour autant d'une intelligence inaccessible à un être vivant? "Non, répond Ben Goertzel, spécialiste du domaine. Aujourd'hui, les systèmes d'I.A. sont dits 'étroits': ils ne font pas des raisonnements mais des calculs, et seulement pour une

tâche définie au préalable." AlphaGo n'a eu qu'à puiser dans les  $10^{172}$  possibilités du jeu de go pour trouver un mouvement inédit.

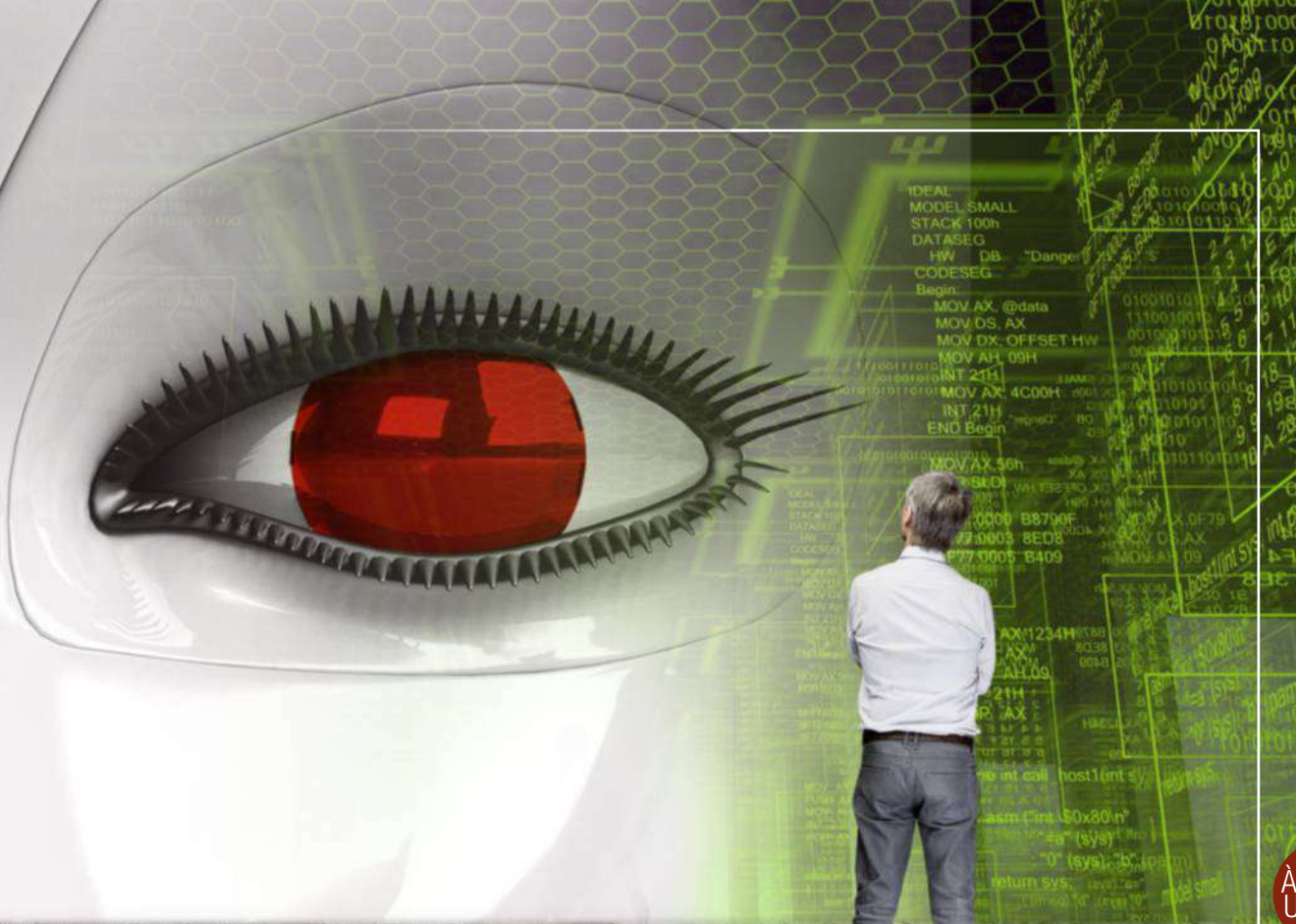
Pour Emmanuel Sander, chercheur en psychologie du développement à l'université Paris 8, ce qui fait défaut aux I.A., c'est notre capacité à l'analogie. "Notre pensée, et donc ce que nous appelons intelligence, construit des concepts auxquels nous faisons sans cesse appel par analogie pour gérer le quotidien", explique-t-il.

Oui, mais AlphaGo procède aussi de cette manière: il a analysé des milliers de parties, joué contre lui-même, et fait appel à son "expérience" face à de nouveaux joueurs... "Nos concepts ne sont pas figés comme un algorithme, rétorque le chercheur. Chaque

nouvelle situation les remodèle et les rend plus fluides. Par exemple, si je vous dis 'faites attention aux voitures', vous savez que 'voiture' comprend aussi 'moto, camion, vélo...' car vous en comprenez le concept. Ce qui est impossible pour une I.A."

## DES I.A. DE PLUS EN PLUS ABSTRAITES

Pour le moment. Car c'est bien sur cette flexibilité de l'intelligence artificielle que travaillent aujourd'hui les équipes de Google DeepMind, de GoodAI ou d'OpenCog. "Les recherches s'inspirent de la structure cérébrale, explique Hugo de Garis, ancien directeur de l'Artificial Brain Lab de l'université de Xiamen (Chine). Et alors que l'intelligence humaine est limitée par la structure du cerveau et la lenteur de l'évolution, les futures I.A. n'auront aucune barrière physique ou



*biologique. Leur intelligence dépassera notre entendement.”*

D’analogie en analogie, dans une sorte de course folle à l’abstraction, ces machines “superintelligentes” pourraient-elles vraiment concevoir des concepts qui nous seraient véritablement incompréhensibles ?

Nick Bostrom, directeur du Centre de recherche stratégique sur l’intelligence artificielle, à Oxford, se risque à répondre : il entrevoit trois sortes de super-I.A. qui pourraient voir le jour dans un futur proche, chacune surpassant notre pensée à sa façon.

La première aurait une rapidité de calcul tellement énorme que le temps lui apparaîtrait dilaté, à tel point qu’elle pourrait s’en échapper : à la manière de Samantha, l’I.A. du film *Her*, elle quitterait notre espace-temps pour un monde qui nous est inaccessible. La deuxième agirait comme une entreprise, un pays ou une planète

entière, en multipliant ses entités dans un but commun : il nous serait aussi impossible de la comprendre qu’une fourmi face à sa colonie. Et la dernière aurait simplement une capacité d’abstraction supérieure à la nôtre : elle serait d’une intelligence aussi distante de la nôtre que la nôtre l’est de celle d’un chimpanzé.

Face à de telles I.A., l’humain n’aurait aucun repère, aucune analogie à laquelle se raccrocher. “*L’arrivée d’une super-I.A. pose aussi la question de la singularité technologique, à savoir sa capacité à s’auto-améliorer*”, pointe Hugo de Garis.

Bref, il devient aujourd’hui important de comprendre ce qu’on ne comprendra jamais... **T.C.-F.**

**HUGO DE GARIS**

Ex-directeur de l’Artificial Brain Lab, université de Xiamen (Chine)

*Il se trouve que l’intelligence humaine est limitée par la structure du cerveau et la lenteur de l’évolution*

# ON NE SAURA JAMAIS DANS QUEL UNIVERS NOUS VIVONS

Le monde est bien là, au-dessus de nos têtes, à portée de vue.

Une, dix, cent... Si vous avez la chance de passer vos vacances sous un ciel préservé de toute pollution lumineuse et que l'envie vous prend de compter les étoiles, vous pourrez monter jusqu'à 4 500 – l'œil humain n'est pas assez sensible pour en voir davantage. Les meilleurs télescopes actuels, eux, en dénombrent jusqu'à une quinzaine de millions.

Mais quelles que soient l'étendue de notre patience et la technologie déployée, le rêveur comme l'expert doivent s'y résoudre: la plupart des étoiles ne seront jamais observables. Car la majeure partie de l'Univers dans lequel nous vivons nous restera toujours inconnue.

Pourquoi être si sûrs de notre ignorance? Parce qu'elle est directement liée à une barrière absolue imposée par la nature: rien dans l'Univers, aucun objet, aucune information ne peut se déplacer au-delà de 299 792 km/s. Une vitesse que seule peut atteindre la lumière lorsqu'elle se propage dans le vide.

Une seconde pour la Lune, huit minutes et vingt secondes pour le Soleil, quatre ans et trois mois pour l'étoile Alpha du Centaure, 2,5 millions d'années pour la galaxie d'Andromède... Toute observation subit fatalement un décalage temporel. On peut donc imaginer observer de plus en plus loin dans l'espace et remonter le temps jusqu'à il y a 13,4 milliards d'années, avant même les premières étoiles. Mais on ne peut remonter au-delà de 13,8 milliards d'années... puisque l'Univers n'existait pas encore.

L'ensemble de cette zone forme l'Univers observable. Une sphère gigantesque centrée sur la Terre, contenant tout ce que l'on connaît aujourd'hui du monde, et qui ne fait pas 13,8 milliards d'années-lumière de rayon, comme on pourrait s'y attendre... mais 45, à cause de l'expansion. En effet, si la lumière émise aux bords de cette sphère, au tout début de l'Univers, est vieille de 13,8 milliards d'années, elle a, en "surfant" sur un espace en expansion, parcouru 45 milliards d'années-lumière.

## LE COSMOS CONTINUE DE S'ÉTENDRE

En théorie, rien n'empêche de compter les étoiles contenues dans cette sphère. Charles Lineweaver, astrophysicien à l'université nationale australienne de Canberra, en donne une estimation: *"Si l'on considère que les galaxies lointaines comptent autant d'étoiles que les plus proches, soit 100 milliards en moyenne, le nombre total d'étoiles dans l'Univers observable est de  $10^{23}$ ."* Soit environ le nombre de grains de sable sur toute la Terre, plages, déserts et bacs à sable confondus.

Sauf que l'Univers est beaucoup plus grand que sa partie observable. Lors de ses premiers instants, certaines régions étaient trop éloignées pour que leur lumière ait eu le temps de nous parvenir. Le cosmos continue donc certainement au-delà de la sphère connue de 45 milliards d'années-lumière. *"Des données observationnelles sur la courbure de l'espace-temps indiquent que l'Univers est au moins 300 fois plus volumineux que sa partie observable"*, précise le chercheur. Ce qui donnerait au moins  $10^{25}$  étoiles.

Seulement, il est impossible de le vérifier, puisque ces lumières n'ont pas

CHARLES  
LINEWEAVER

Astrophysicien  
à l'université  
nationale  
australienne  
de Canberra

*De la même façon, on ne peut pas voir l'océan Atlantique en entier si l'on navigue au beau milieu: l'horizon délimite en fait la zone à laquelle on a accès*

encore eu le temps de nous parvenir. *"Nous ne pouvons pas voir ces étoiles pour la même raison que l'on ne peut pas voir l'océan Atlantique en entier si l'on navigue au beau milieu, poursuit l'astrophysicien. Un horizon délimite une zone accessible autour de nous."*

Et avec un peu de patience? Car l'Univers observable, c'est logique, s'agrandit un peu plus chaque jour. D'un "jour-lumière", plus précisément. A ce rythme, on peut donc imaginer



qu'un beau jour, nous verrons l'ensemble de l'Univers, ne serait-ce qu'au bout d'un temps... infini.

Et pourtant non ! Toujours cette sâtannée expansion. Car plus une zone de l'Univers est loin, plus elle s'éloigne de nous rapidement. Et à partir de 16 milliards d'années-lumière de distance,

elle s'éloigne même... plus vite que la lumière ! Sacrilège ? Pas du tout : la limitation de vitesse ne concerne que ce qui se déplace dans l'espace-temps, et non son expansion. Sachant que les étoiles à cette distance restent visibles telles qu'elles étaient autrefois ; c'est leur lumière actuelle qui ne nous atteindra jamais.

Au final, l'Univers observable a beau s'agrandir de jour en jour, certaines régions resteront définitivement hors de notre vue. Plus précisément, celles qui se situent aujourd'hui à plus de

62 milliards d'années-lumière : elles sont depuis l'origine si éloignées de la nôtre que leur lumière ne pourra jamais compenser l'expansion.

Dans cette gigantesque partie inaccessible de l'Univers, la théorie prétend que brillent d'autres étoiles. Personne ne pourra les compter. Nous vivons dans le même Univers que ces contrées inimaginablement éloignées, mais elles demeureront à jamais inconnues. **B.R.**

# ON NE SAURA JAMAIS CE QU'EST UN ÉLECTRON

Quelle est la forme de l'électron ? Parfaitement rond à un milliardième de milliardième de milliardième près, répondaient en 2014 les physiciens de la collaboration ACME (universités Harvard et Yale, Etats-Unis), à l'issue d'une expérience à la précision inouïe.

Un résultat conforme à l'idée que l'on se fait, naïvement, de ce qu'est une particule élémentaire. Conforme aussi à l'idée que l'on se fait, non moins naïvement, de ce qu'est la science, censée nous révéler comment sont vraiment les choses. Et ce, au travers d'expérimentations et de démonstrations valant force de vérité.

Mais ce n'est pas si simple. En l'occurrence, ce n'est pas vraiment la forme d'un électron que les physiciens d'ACME sont parvenus à déterminer, ni ses contours, mais plus précisément la distribution dans l'espace de sa charge électrique. Or, un électron n'est pas seulement défini par sa charge : il l'est aussi par sa masse, son moment magnétique et son temps de vie. Mais se résume-t-il seulement à l'ensemble de ces attributs mesurables lors d'une expérience de physique ?

Et que dire des clichés issus des expériences de physique des particules ? Pour spectaculaires qu'ils soient, ils ne sont qu'une image des trajectoires de tel ou tel corpuscule dans un détecteur. "C'est un

peu l'équivalent de la traînée laissée par un avion dans le ciel", explique Daniel Fournier, ancien responsable pour le CNRS de l'expérience Atlas, l'un des détecteurs du LHC, au Cern. Cette traînée dit l'avion, mais elle n'est pas l'avion...

## "UNE COURBE SUR UN GRAPHIQUE"

Au point de se demander si, en réalité, des particules élémentaires, électrons ou autres, les physiciens perçoivent vraiment quelque chose.

Certes, ils peuvent se faire une représentation de l'électron grâce à leurs théories, qui établissent un lien entre des faits expérimentaux mesurés et des entités mathématiques. Ainsi, pour Anne-Marie Lutz, au Laboratoire de l'accélérateur linéaire d'Orsay, "une particule, finalement, c'est une courbe sur un graphique ou quelques chiffres dans un tableau. C'est ce qu'il y a de plus concret".

Il n'y a là, en fait, qu'une réaffirmation du principe fondateur de la science moderne, énoncé au début du XVI<sup>e</sup> siècle : ne s'intéresser qu'à la fraction de la réalité physique qui s'exprime en termes de grandeurs et d'ordres mathématiques.

Mais quelle que soit la précision atteinte par ces théories, une particule ne peut pas non plus se résumer à sa représentation mathématique. N'en déplaise à Galilée, pour qui le monde "est écrit dans la langue mathématique". Cette formule est passée à la postérité. Mais comme le note

Alexei Grinbaum, au Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière, au CEA, "nous pouvons dire que les structures mathématiques du modèle standard sont des constituants élémentaires de la réalité telle que nous la connaissons. Mais absolument pas que la théorie physique permet d'accéder à la réalité en soi".

D'où cet étrange paradoxe : c'est en sondant la matière à travers leurs détecteurs et leurs équations, c'est-à-dire en la mettant à distance, que les physiciens tâchent d'en percevoir les secrets.



C'est en abandonnant l'idée d'en comprendre l'essence qu'ils se donnent les moyens d'en saisir l'existence. Ce que le regretté philosophe des sciences François Dagognet résumait ainsi: *"Quand le scientifique mesure quelque chose, il tombe dans l'invincible illusion qu'il a mesuré quelque chose, alors qu'il n'a fait que mesurer quelque chose."* **M.G.**

“ ALEXEI  
GRINBAUM

Physicien  
et philosophe,  
chercheur  
au Larsim (CEA)

*Aucune théorie physique  
ne permet d'accéder  
à la réalité en soi*



Une limite entropique

# ON NE CONNAÎTRA JAMAIS LE GÉNOME DU T. REX

On y a pourtant cru. Après la mise au point des premières techniques de séquençage de l'ADN au cours des années 1970, la décennie 1990 a accumulé les records : en 1992, l'ADN d'un termite de 30 millions d'années était publié ; en 1993, un charançon plaçait la barre à 130 millions d'années... et en 1994, on annonçait l'extraction d'un ADN de dinosaure de 80 millions d'années !

Las. Au même moment, certains s'étonnaient de ne pouvoir franchir – péniblement – que la barrière des millénaires... Dans leurs laboratoires stérilisés, Tomas Lindahl, Allan Wilson ou encore Svante Pääbo étaient en train de poser les bases de la “paléogénétique”. Et quand ils décortiquèrent les travaux de leurs confrères, ils y trouvèrent la trace de multiples contaminations d'ADN moderne. Les résultats mirifiques s'effondrèrent les uns après les autres. L'ADN “antédiluvien” n'avait été qu'un leurre...

La faute aux lois d'airain de la thermodynamique, qui contrarient notre appétit de connaissance en postulant notamment l'inévitable dégradation entropique des choses (l'entropie étant la mesure du degré de désordre d'un système).

Car l'ADN, comme toute structure ordonnée, subit les assauts du temps : chimie, biologie et physique se liguent pour hacher menu la longue molécule informative. Dans une cellule en vie, déjà, elle tend à se casser et à muter (plus de 10 000 altérations par jour et par cellule,

sous l'effet d'agents chimiques ou de rayonnements), et seuls les mécanismes de réparation préservent le message. A la mort, c'est le chaos. “*En quelques heures, parfois quelques jours après la mort, les brins d'ADN sont coupés en fragments de plus en plus petits, tandis que diverses autres formes de dommages s'accroissent*”, écrit Svante Pääbo dans son livre *Neandertal : à la recherche des génomes perdus*.

Sachant qu'à l'extérieur de la cellule, les menaces ne manquent pas non plus : l'eau, l'acidité, les températures trop hautes ou fluctuantes, etc.

## L'ADN SE DÉGRADE VITE

Le généticien Morten Allentoft a calculé en 2012 la vitesse de dégradation de l'ADN : à 25 °C, en 22 000 ans seulement, le texte génétique n'existe plus que sous la forme de lettres éparées ; à 10 °C, il faut 150 000 ans ; à -5 °C, 6 millions d'années. Sachant que pour pouvoir être lu, un fragment doit compter une trentaine de lettres reliées, ce qui réduit encore la fourchette de temps “attrapable”.

Pour Céline Bon, paléogénéticienne au Muséum national d'histoire naturelle, “*1 million d'années est une limite crédible. On s'en approche, d'ailleurs : le génome d'un Homo heidelbergensis de 400 000 ans a été reconstitué, ainsi que celui d'un ancêtre du cheval vieux de 700 000 ans...*”

Le *T. rex*, lui, a disparu il y a 66 millions d'années. Autant dire qu'il ne reste plus rien de son ADN depuis longtemps... **E.R.**



“  
CÉLINE  
BON

Paléogénéticienne  
au Muséum  
national d'histoire  
naturelle

*Pour la conservation  
de l'ADN, 1 million  
d'années est  
une limite crédible*





9

Une limite épistémologique

## ON NE SAURA JAMAIS POURQUOI

Pourquoi les planètes tournent-elles autour du Soleil ? Pourquoi l'eau bout-elle ? Pourquoi le ciel est-il bleu ? Pas à pas, la science avance ses réponses, allant chercher les explications dans quelques principes fondateurs et une poignée de lois fondamentales.

*“L’idée que les phénomènes ne sont pas indépendants mais sont causés par d’autres phénomènes est à la base de la démarche scientifique”,* rappelle Jean Iliopoulos, du Laboratoire de physique théorique (LPT) de l’ENS, à Paris.

Cette traque des causes sous-jacentes trouve son apogée avec la théorie des cordes, encore inachevée, qui *“pousse l’unification à l’extrême en postulant que tout ce qu’on observe résulte d’un seul objet ultime : la corde”*, résume Costas Bachas, du LPT. Cette théorie promet d’avancer un *“parce que”* définitif à tous les *“pourquoi?”*.

Sauf que, explique Jean Iliopoulos, *“même si l’on arrive à prouver l’existence des cordes, se posera alors la question de leur origine...”*. Costas Bachas ajoute : *“Supposons même que l’on soit capable d’écrire les équations de la théorie fondamentale ultime. Pourra-t-on ensuite traduire mathématiquement la question de savoir pourquoi ses lois sont ce qu’elles sont ?”* Et son collègue d’asséner : *“On ne termine jamais la physique.”*

Et pour cause, comme le précise Etienne Klein, au Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière,

*“l’explication de l’origine d’une entité physique mobilise toujours d’autres entités physiques, nous entraînant ainsi dans une régression à l’infini”*.

De même qu’on n’épuisera jamais la question de savoir pourquoi il y a quelque chose plutôt que rien – ou même autre chose.

Le physicien se trouve finalement dans la même situation que le parent désarçonné par l’enchaînement d’interrogations sans fin de son enfant : il y aura toujours un nouveau *“Oui, mais pourquoi ?”* après le dernier *“parce que”*.

M.G.

*L’explication de l’origine d’une entité en mobilise toujours d’autres, nous entraînant dans une régression à l’infini*

ÉTIENNE  
KLEIN

Physicien au Laboratoire des recherches sur les sciences de la matière

À LA  
UNE

Une limite liée à l'interprétation

# ON NE SAURA JAMAIS SI NOUS VIVONS À L'EXTÉRIEUR OU À L'INTÉRIEUR DE LA TERRE

L'idée semble stupide. Qui peut sérieusement envisager que, au lieu de vivre sur la surface extérieure de la Terre, nous vivions en réalité sur sa surface intérieure? Croire que notre planète est creuse et concave plutôt que pleine et convexe sonne comme une blague, une provocation, une hérésie!

Pourtant, comme le résumait le mathématicien égyptien Mostafa Abdelkader, qui a publié en 1983 une étude sur ce "géocosmos", cette vision du monde est non seulement envisageable, mais aussi "empiriquement irréfutable".

Brice Loustau, mathématicien à l'université Rutgers (Etats-Unis), acquiesce: "Il s'agit exactement du même Univers que le nôtre, mais considéré d'un point de vue géométrique différent. Mostafa Abdelkader a simplement appliqué une inversion par rapport à une sphère, en l'occurrence la Terre: à chaque point extérieur à celle-ci correspond un point intérieur."

Ce renversement des perspectives exige un "petit" effort mental. Ce fut d'ailleurs suite à une expérience mystique que l'Américain Cyrus Teed, en 1869, en devint l'un des premiers défenseurs – il prit par la suite le nom de Koresh et fonda une secte.

Il faut imaginer que tout ce qui se trouve à la surface de la Terre – océans, montagnes, villes... – ne change pas de place, mais d'orientation: au lieu de pointer vers l'extérieur du globe, tout se retourne vers l'intérieur. De telle sorte que le

ciel se situe ici au cœur de notre planète! Mieux: c'est l'Univers tout entier qui se trouve dans cet espace clos – plus les étoiles et les galaxies sont éloignées, plus elles sont proches du centre, qui reste inaccessible. Le monde épique décrit par la série télé *Game of Thrones* est d'ailleurs présenté dans le générique comme une terre concave...

## L'INVENTION D'UNE AUTRE PHYSIQUE

Cela pose un problème géométrique immédiat: comment l'Univers entier pourrait-il tenir dans une boule d'un rayon de seulement 6 371 km?

Là encore, la réponse est géométrique. "Plus un objet est éloigné de la Terre, plus son image par inversion sera petite", explique Brice Loustau. Dans ce modèle, le diamètre de la Lune varie de 1 060 à 860 m, celui du Soleil est de 2,6 m, et les étoiles lointaines sont microscopiques, tout ce cosmos intérieur tournant autour du centre de la sphère. Mais le plus surprenant reste le devenir des cosmonautes, qui rapetisseraient à mesure qu'ils s'éloigneraient de la Terre, tout comme leur vaisseau...

Bien sûr, adopter ce point de vue exige de bouleverser les lois de la physique. L'étude de Mostafa Abdelkader se contente de décrire le mouvement de la lumière: sa vitesse est nulle au centre de la Terre et accélère à mesure qu'elle s'en éloigne. Elle se propage en cercles, ce qui permet d'expliquer l'alternance des jours et des nuits, ainsi que l'illusion d'une Terre ronde perdue dans l'Univers qu'a un astronaute en quittant l'atmosphère.

De même, toutes les autres lois de la physique peuvent être reformulées, à quelques sévères complications près.

Déirant? Ce débat est finalement assez proche de celui qui anime la communauté des spécialistes de mécanique quantique, tiraillés entre différentes interprétations de leur corpus. Sans compter que depuis Einstein et ses effets relativistes, notre bonne vieille image standard du cosmos a déjà subi d'audacieuses dilatactions de l'espace et du temps...

"Si nous avions toujours cru en ce modèle, nous aurions simplement inventé une autre physique", résume Joseph Kouneiher, professeur d'épistémologie et de mathématiques appliquées à l'université Nice-Sophia-Antipolis.

Alors, pourquoi presque personne n'y croit? "Le géocosmos ne résiste pas à un principe fondamental en science: le rasoir d'Ockham", assène Brice Loustau. Selon ce principe,



entre deux explications équivalentes, la plus simple est la meilleure. C'est ce même rasoir qui a tranché entre le système astronomique de Ptolémée, qui décrit la course des planètes autour de la Terre avec des

épicycles affreusement compliqués, et le système de Copernic, qui, plus de 1300 ans plus tard, en plaçant le Soleil au centre, décrit les mêmes trajectoires à l'aide d'élégantes ellipses.

Reste que le statut épistémologique de ce principe, extérieur à l'observation, à la description et à la mise en équation du monde, est singulier. Et que même si personne ou presque n'y croit, le modèle de la Terre concave a le même pouvoir prédictif et explicatif que notre modèle standard.

*"Pourquoi choisir?", conclut Brice Loustau. Les deux systèmes sont des reflets! Et le géocosmos a tout de même le mérite de replacer la Terre au premier plan: non pas au centre, mais tout autour de l'Univers."* T.C.-F.

“ BRICE LOUSTAU

Mathématicien à l'université Rutgers (Etats-Unis)

*Le modèle de la Terre creuse concave est irréfutable, puisqu'il s'agit exactement du même Univers que le nôtre, mais d'un différent point de vue géométrique*

# VIVE L'IGNORANCE ?

*Longtemps, la science s'est fondée sur ce qu'elle savait. Avec les succès que l'on sait. Oui, mais, cette volonté de savoir la conduit aujourd'hui à prendre en compte sa propre ignorance. Et cette prise de conscience s'avère une aubaine.*

Peut-on vraiment dire qu'on ne saura jamais ? Le philosophe Charles Peirce, au XIX<sup>e</sup> siècle, soulignait la difficulté de l'exercice. Il en voulait pour preuve l'imprudance d'Auguste Comte qui, dans ses leçons de philosophie positive, affirmait que s'il y avait bien une chose que jamais on ne connaîtrait, c'était la composition des étoiles lointaines. Quelques années à peine avant l'invention de la spectroscopie qui permettra justement, à partir de l'analyse du rayonnement, de savoir ce que contiennent ces étoiles. L'exemple valait, pour Peirce, avertissement : ne jamais dire jamais... Sans doute convient-il, en effet, d'être prudent.

Mais la science a mûri. Elle connaît mieux ses outils. Et il est sans doute plus aisé, aujourd'hui, de distinguer ce qui relève d'une difficulté technique provisoire, dans l'attente de nouveaux concepts (la spectroscopie), et ce qui

*"Ils ne se sentent pas très à l'aise face à cette question", prévient Jean-Marc Lévy-Leblond, physicien et essayiste. Certains chercheurs interrogés se sont même offusqués que l'on fasse un dossier sur ce thème. Et pour cause ! Leur travail est devenu si exigeant, la nécessité de publier si impérative, que les jeunes chercheurs n'ont guère le temps de s'interroger sur les limites de leur art. "L'une des choses que les scientifiques, et les physiciens en particulier, ne savent pas, c'est que faire de leur propre ignorance", s'amuse celui qui fut aussi, jadis, un jeune chercheur.*

*"La seule chose que je sais, c'est que je ne sais rien", professait Socrate, avec son sens coutumier du paradoxe. Le chercheur peut-il faire sien ce credo ? Assurément, répond Stuart Firestein, professeur au département de biologie de l'université Columbia (Etats-Unis). Dans *Ignorance: how it drives Science*, un ouvrage publié en 2012, le neurobiologiste décrit en quoi l'ignorance, et non le savoir, constitue le véritable carburant de la science. "Lorsque*

*je discute avec des collègues autour d'une bière à l'occasion d'un colloque, nous n'évoquons aucun fait, nous ne parlons pas de ce qui est connu : nous parlons de ce que nous aimerions comprendre et de ce qui reste à faire", rappelle-t-il. D'où l'idée d'inviter, dans son département, des scientifiques*

renommés pour qu'ils évoquent, non pas ce qu'ils ont découvert, mais ce qu'ils aimeraient savoir ou ce qu'ils savent qu'ils ne sauront jamais...

*"Il est difficile d'attraper un chat noir dans une pièce sombre, surtout lorsqu'il n'y est pas", aime-t-il répéter. Car c'est ainsi que Stuart Firestein regarde l'activité scientifique : comme la recherche obstinée d'un chat dans une pièce obscure possiblement vide. Enchaînant, dès le chat trouvé, sur la recherche d'un autre chat dans une autre pièce tout aussi sombre... en un questionnement sans fin.*

## LE MANDARIN SÛR DE SON SAVOIR A VÉCU

*"Les questions sont plus importantes et plus vastes que les réponses. Une bonne question peut donner lieu à une superposition de réponses, inspirer des recherches labyrinthiques, générer de nouveaux champs de recherche, de nouvelles façons de penser. Les réponses, en revanche, mettent un terme au processus", insiste-t-il. En clair, la science n'aurait pas pour fonction d'accroître notre savoir, mais de nous révéler avec toujours plus de*

## Les questions sont plus importantes et plus vastes que les réponses

relève d'une impossibilité, scientifiquement ou logiquement démontrée. C'est-à-dire de faire la part entre ce qui nous paraît difficile de savoir et ce que nous savons que nous ne saurons pas.

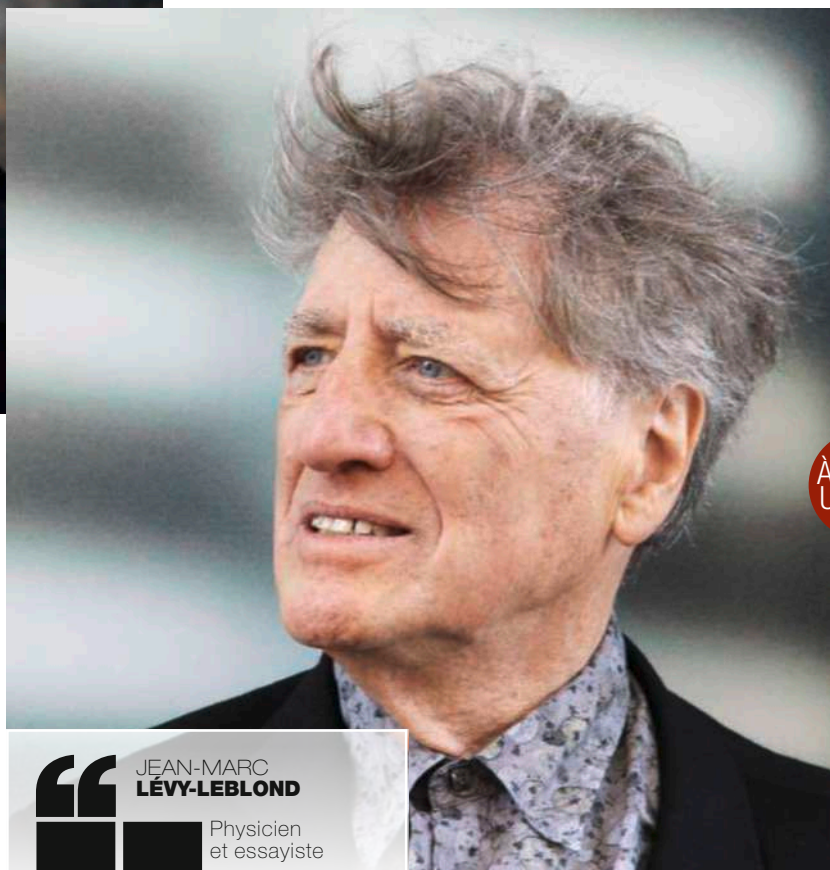
La nuance, certes, est parfois subtile : que savent vraiment les scientifiques de ce qu'ils ignorent ?





*On est sorti d'une vision du savoir qui correspondrait au triomphe définitif de la science ; l'époque incite à plus de modestie*

**MATHIAS GIREL**  
Maître de conférences en philosophie à l'École normale supérieure (Paris)



À LA UNE

pertinence à quel point notre ignorance est immense.

Toute question résolue en amenant des dizaines d'autres, faut-il désespérer? Au contraire. Car nous savons ainsi, de mieux en mieux, ce que nous ignorons. Et ça, ce n'est pas rien. Même s'il a fallu, pour cela, des siècles d'efforts.

Lorsque la science moderne naît, au XVII<sup>e</sup> siècle, les grands débats sont en effet métaphysiques. En quoi l'harmonie du monde reflète-t-elle la perfection divine? Personne, jusque-là, n'avait vraiment pensé qu'il y avait quelque intérêt à se poser des questions aussi banales que la durée que met une pierre pour tomber d'une tour. Aux doctes discours d'un Aristote qui ordonne par la pensée l'ensemble du monde, se substitue une approche plus humble: observer et mesurer. Mettre au jour des rapports simples entre quantités. Et découvrir que l'intuition nous trompe: un boulet de fonte ne tombe pas plus vite qu'un œuf... Un univers insoupçonné d'ignorance – à tout le moins de méconnaissance – se dévoile. Mais après un siècle marqué

**JEAN-MARC LÉVY-LEBLOND**  
Physicien et essayiste

*L'une des choses que les scientifiques, et les physiciens en particulier, ne savent pas, c'est que faire de leur propre ignorance*

par des guerres de religion qui ont anéanti l'idée de vérité absolue, cette nouvelle façon plus concrète d'interroger le monde apporte une raison d'espérer: il se pourrait que parmi l'infinité de questions que peut se poser l'esprit humain, il en existe certaines qui, par un patient travail d'observation et de mathématisation, puissent recevoir une réponse assurée.

Une première séparation s'opère: si l'intention du Saint-Esprit est de nous enseigner comment on doit aller au ciel, écrit Galilée, c'est à

# Ignorance : à la fois part d'ombre et moteur de la science depuis 400 ans

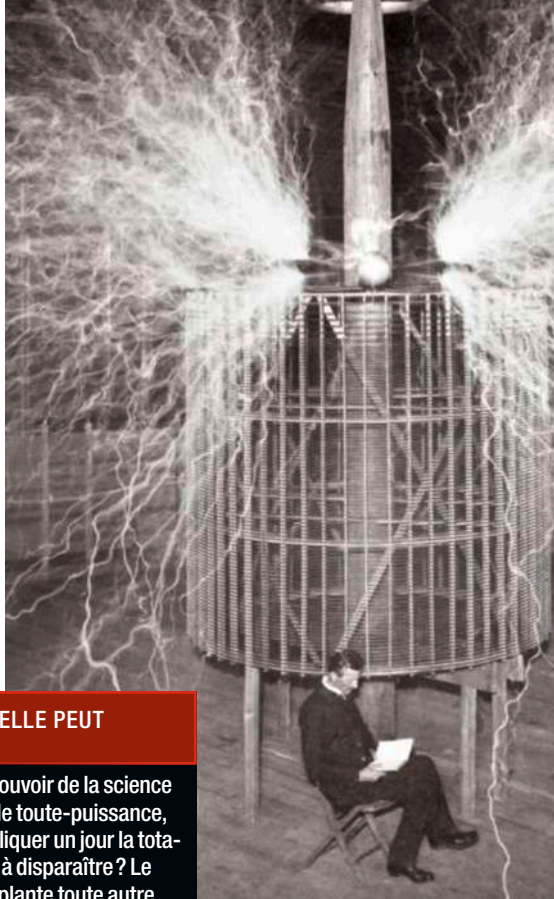


**XVII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> SIÈCLES : LA SCIENCE MODERNE NAÎT EN DÉCOUVRANT SON IGNORANCE**

Aux grands débats métaphysiques sur l'harmonie du monde et la perfection divine, les philosophes naturels substituent des questions plus concrètes telles : combien de temps met une pierre à tomber ? En révélant des rapports insoupçonnés entre quantités mesurées, ils découvrent un nouveau monde d'ignorance.

**XIX<sup>e</sup> SIÈCLE : LA SCIENCE CROIT QU'ELLE PEUT VAINCRE L'IGNORANCE**

La révolution industrielle révèle un réel pouvoir de la science sur le monde. Gagnés par un sentiment de toute-puissance, les scientifiques caressent l'espoir d'expliquer un jour la totalité du réel. L'ignorance est-elle destinée à disparaître ? Le scientisme considère que la science supplante toute autre forme de savoir et qu'elle va produire des théories achevées.



→ l'astronomie, et bientôt à la physique – à laquelle le grand savant florentin donne ses premières bases –, de nous dire comment va le ciel. A chaque type de question, donc, sa méthode. Il s'agit d'ordonner notre ignorance : d'un côté, les questions liées à l'organisation de la matière et de ses mouvements ; de l'autre le sens du juste, du beau, les causes finales, bref tout ce qui échappe à la mesure mais non à la raison. La science n'édicte pas de principes moraux. Elle ne saurait encore moins me dire quel sens donner à ma vie ou si l'Univers lui-même en a un. Elle n'a pas pour ambition de remplacer la philosophie.

“Je ne forge pas d'hypothèse”, écrira ainsi Newton, moins d'un siècle plus tard, pour parer aux interrogations sur la nature de cette attraction gravitationnelle invisible, agissant à distance, qu'il vient de mettre en évidence sous la forme d'une loi mathématique. Un aveu implicite que, derrière sa

prouesse théorique, la question sans doute la plus fondamentale pour lui n'a pas été résolue : pourquoi deux masses s'attirent-elles ?

## QU'EST-CE QUE CONNAÎTRE ?

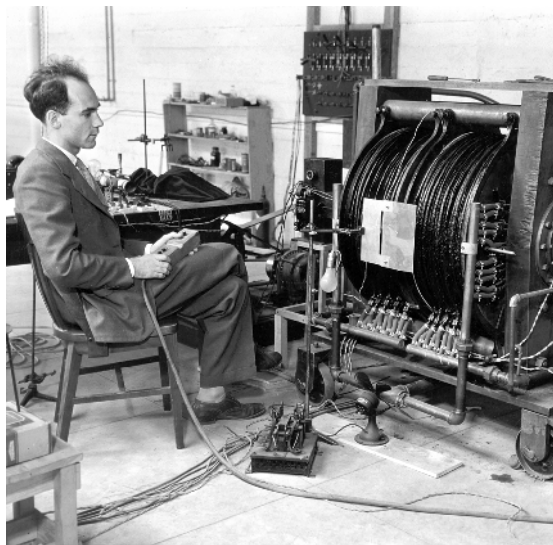
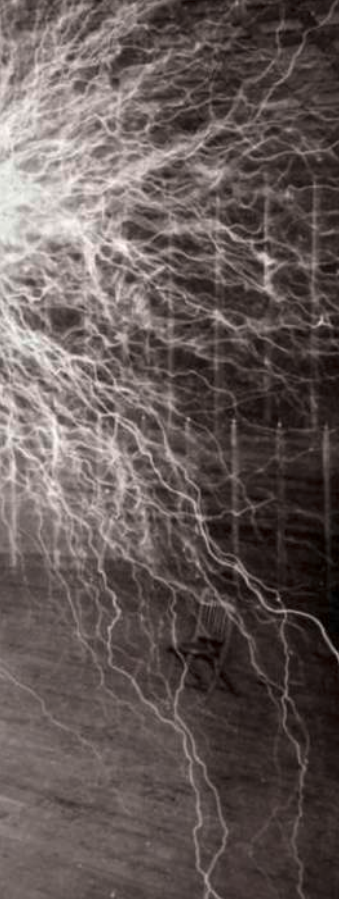
Fausse modestie ? Car le pouvoir que donne la mécanique newtonienne est immense : il suffirait, en théorie, de connaître l'état de l'ensemble des corps de l'Univers à un moment donné pour pouvoir prédire l'état de cet Univers à n'importe quel instant futur. Ce qui n'échappe pas à Pierre-Simon de Laplace : “Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'Univers et ceux du plus léger des atomes : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme

le passé seraient présents à ses yeux”, souligne-t-il dans son *Essai philosophique sur les probabilités*.

Laplace sait, bien sûr, que cette omniscience n'est qu'une vue de l'esprit. Mais la révolution industrielle donne à la science un début d'efficacité pratique. Un pouvoir sur le monde qui, avec l'essor du train, des machines à vapeur, du télégraphe, semble n'avoir aucune limite. Et si la science pouvait, à terme, tout expliquer ? Et si l'ignorance pouvait se réduire peu à peu comme une peau de chagrin ? Le scientifique n'apporte-t-il pas la preuve, par l'efficacité des machines conçues à partir de son savoir, qu'il s'approche toujours plus de la vérité du monde ? Rien ne semble pouvoir lui faire obstacle.

A tel point que le grand physicien britannique Lord Kelvin, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, l'affirme sans retenue : “La science physique forme aujourd'hui, pour l'essentiel, un ensemble parfaitement harmonieux, un ensemble

SPL/COSMOS - LEEMAGE - ARCHIVES CALTECH - BLUË BRAIN PROJECT/EPEL

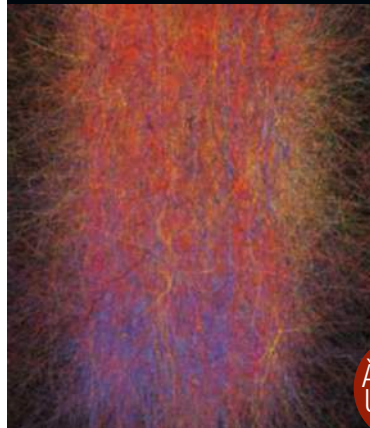


### XX<sup>e</sup> SIÈCLE : LA SCIENCE PRODUIT SA PROPRE IGNORANCE

Relativité d'Einstein, physique quantique... Les théories scientifiques imposent des limites indépensables à ce qu'il est possible de connaître. L'ignorance peut donc elle aussi être scientifiquement démontrée. Une limite qui n'est nullement synonyme d'impuissance : savoir ce qu'il est impossible de connaître est en soi une connaissance fort utile !

### XXI<sup>e</sup> SIÈCLE : L'IGNORANCE ÉMERGE DE LA COMPLEXITÉ

Mêlant analyses logique, historique, psychologique ou sociale, l'étude de l'ignorance se déploie dans de nouvelles dimensions. A l'image d'une science qui se complexifie et croise de plus en plus les disciplines. Fini les questions simples sur des systèmes simples : de nouveaux continents d'ignorance émergent lorsque la science s'attaque à des systèmes bien plus complexes (sociétés...).



À LA UNE

*pratiquement achevé.*” Ne restait plus à ses successeurs qu'à creuser quelques décimales de plus sur une poignée de constantes...

On sait qu'il n'en fut rien. Comme si tout savoir dissimulait une ignorance qui s'ignore. Lord Kelvin n'avait pu percevoir que son flot de savoir donnait sur un gigantesque océan d'ignorance.

## L'ère des questions simples sur des sujets simples paraît révolue

Depuis, l'image du mandarin sûr de ses connaissances a vécu. Mais l'ambition de tout connaître n'a, elle, pas totalement disparu. Ainsi, des scientifiques prétendent encore chercher une théorie du Tout. Etablir un petit nombre de lois s'appliquant aux particules élémentaires, à partir desquelles il deviendrait possible de connaître

l'ensemble du réel. Dans *Une brève histoire du temps*, le physicien Stephen Hawking espérait atteindre *“la pensée de Dieu”*. Naïveté? *“Double discours, estime plutôt Jean-Marc Lévy-Leblond. En privé, beaucoup de ces scientifiques accepteraient l'idée que ce sont des termes un peu outranciers mais utiles pour séduire le grand public.”*

Car, entre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et le début du XX<sup>e</sup> siècle, la science a elle-même montré qu'il existera toujours des questions sans réponse après la décou-

verte des systèmes chaotiques, des théories de la relativité, des théorèmes de Gödel (lire pages précédentes).

Tandis que la physique quantique, de son côté, obligeait à repenser, dans le monde microscopique, l'intuition que les mêmes causes reproduiront forcément les mêmes effets : l'objet quantique n'offre qu'une probabilité

de fournir, lors d'une mesure, une valeur donnée. Pis : l'ordre dans lequel on effectue les mesures modifie à lui seul les réponses données. Poser une question dans le monde quantique altère donc souvent l'objet même sur lequel portait la question.

Victoires de l'ignorance? *“Ces découvertes ne sont pas des limitations de notre savoir, ce sont des limitations d'un certain type de savoir, mais qui ouvrent sur un autre”*, nuance Jean-Marc Lévy-Leblond.

Le physicien en veut pour preuve le fameux principe d'incertitude de Heisenberg, qui affirme, selon un énoncé usuel, qu'on ne peut connaître simultanément la position et la vitesse d'une particule avec une précision aussi fine que l'on veut : *“Cette formulation inadéquate a engendré des milliers d'exégèses affirmant que la physique elle-même prouve que les physiciens ne peuvent pas tout savoir. Or, ce principe signifie juste que les concepts* →

→ que nous utilisons pour décrire le monde macroscopique, celle d'une position et d'une vitesse bien définies, sont inadéquats quand on parle d'un électron." En clair, si celui-ci refuse de nous dire à la fois où il est et à quelle vitesse il va, c'est parce que nous lui posons de mauvaises questions. "Certaines des plus grandes avancées de la science contemporaine sont liées à la découverte de prétendues ignorances qui débouchent sur de nouvelles connaissances", en déduit-il.

Les débats sans fin sur l'interprétation à donner de ces bizarreries quantiques, qui incitent certains à considérer que cette physique ne décrit pas le monde tel qu'il est mais tel que nous pouvons le connaître, éclaire un paradoxe: le scientifique peut appliquer des équations qui fonctionnent à merveille, sans pour autant comprendre ce qu'elles signifient vraiment. La science peut-elle néanmoins avoir confiance dans les faits qu'elle rassemble? Ce qu'elle sait est-il au moins un savoir? La plus abyssale des ignorances est là: que signifie connaître? Y a-t-il un moyen d'accéder à une vérité quelle qu'elle soit?

### FACE À UN NOUVEAU TYPE D'IGNORANCE

L'empirisme logique, au début du XX<sup>e</sup> s., a essayé de construire la science d'une manière qui garantisse un savoir vrai en s'appuyant sur deux piliers: l'expérience directe des phénomènes, sans l'intermédiaire d'aucune théorie, et les règles de logique formelle pour édicter des lois qui pourront être confirmées ou contredites par de nouvelles observations. L'entreprise a fait long feu. D'une part, parce qu'observer des "faits bruts", sans échafaudage théorique pour les recueillir, s'est révélé impossible. D'autre part, parce que la logique elle-même n'échappe pas aux contradictions. Que croire?

Karl Popper, quelques décennies plus tard, propose une approche plus modeste: considérer le savoir scientifique comme des hypothèses formulées à un moment donné pour expliquer des résultats d'expérience. On ne pourra jamais prouver qu'une hypothèse est

## Quand l'ignorance est voulue...

L'ignorance des uns profite parfois à d'autres. Au point de l'entretenir sciemment? L'historien Robert Proctor a récemment décortiqué les stratégies développées durant des décennies par l'industrie du tabac pour faire perdurer l'idée (fausse): que la science ignorait s'il y avait un lien entre tabac et cancer, alors même que ce lien était établi dès les années 1950. "Il s'agit donc ici d'ignorance produite intentionnellement", observe Mathias Girel, maître de conférences de philosophie à l'École normale supérieure. Cette ignorance particulière, socialement produite, fait l'objet d'études approfondies depuis les années 1990. "Elle n'est pas toujours intentionnelle", souligne-t-il, prenant comme exemple les décisions politiques d'orienter les crédits de recherche dans un domaine générant mécaniquement de l'ignorance dans les autres. Des décisions qui ne sont néanmoins pas sans conséquences, observe le chercheur: "En se focalisant sur les facteurs génétiques, la 'guerre contre le cancer' lancée en 1971 par le président américain Nixon s'est traduite, selon Robert Proctor, par un recul relatif des connaissances sur le rôle des comportements et de l'environnement, faisant opportunément le jeu d'autres acteurs."

toujours vraie, mais on pourra au moins la réfuter si l'une de ses conséquences est en désaccord avec l'expérience. Dans le cas contraire, la confiance dans l'hypothèse se renforce. L'objectif de la science serait de construire des théories corroborées par les tests les plus sévères et variés possibles.

Pourquoi choisir une théorie plutôt qu'une autre? Bachelard a mis en évidence les difficultés psychologiques qu'il y a à dépasser le sens commun pour accepter des conceptions contre-intuitives. De leur côté, les *science studies*, dans le sillage de Thomas Kuhn, ont montré l'importance de facteurs sociaux dans le succès, ou l'échec, d'une théorie et l'avènement d'un nouveau paradigme. Comme les savoirs, l'ignorance est aussi celle de son temps.

La perception que l'on a des mécanismes de notre ignorance s'est donc considérablement enrichie, mariant analyse logique, psychologie, processus historiques et sociaux. "Ce dont il faut disposer pour établir de nouvelles connaissances change radicalement. Pour travailler sur le génome, il faut aujourd'hui un biologiste, mais aussi un physicien, un mathématicien, un informaticien...", observe Mathias Girel, maître de conférences en philosophie

à l'École normale supérieure. Une complexité qui fait naître en négatif un nouveau type d'ignorance: celle des rapports entre différentes échelles (des particules élémentaires aux êtres vivants, de l'individu isolé au fonctionnement d'une société...), des rapports entre mondes différents (celui de la machine et celui de l'homme), entre temps différents... L'ère des questions simples sur des objets simples paraît bel et bien révolue.

Notre cerveau, aux capacités sans doute finies, pourra-t-il suivre indéfiniment cette course à la complexité? N'est-il pas vraisemblable que, malgré son extraordinaire plasticité, il ne puisse appréhender certains concepts qui lui resteront à jamais inaccessibles? L'horizon ultime de l'ignorance est là: dans les questions que notre esprit ne pensera même jamais à se poser...



A lire: sur la question de l'ignorance, l'ouvrage de Stuart Firestein cité dans cet article; et pour éclairer notre dossier, *Les limites de la connaissance* d'Hervé Zwirn, ainsi que les études citées à retrouver sur notre site.

EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com



# & Science découvertes



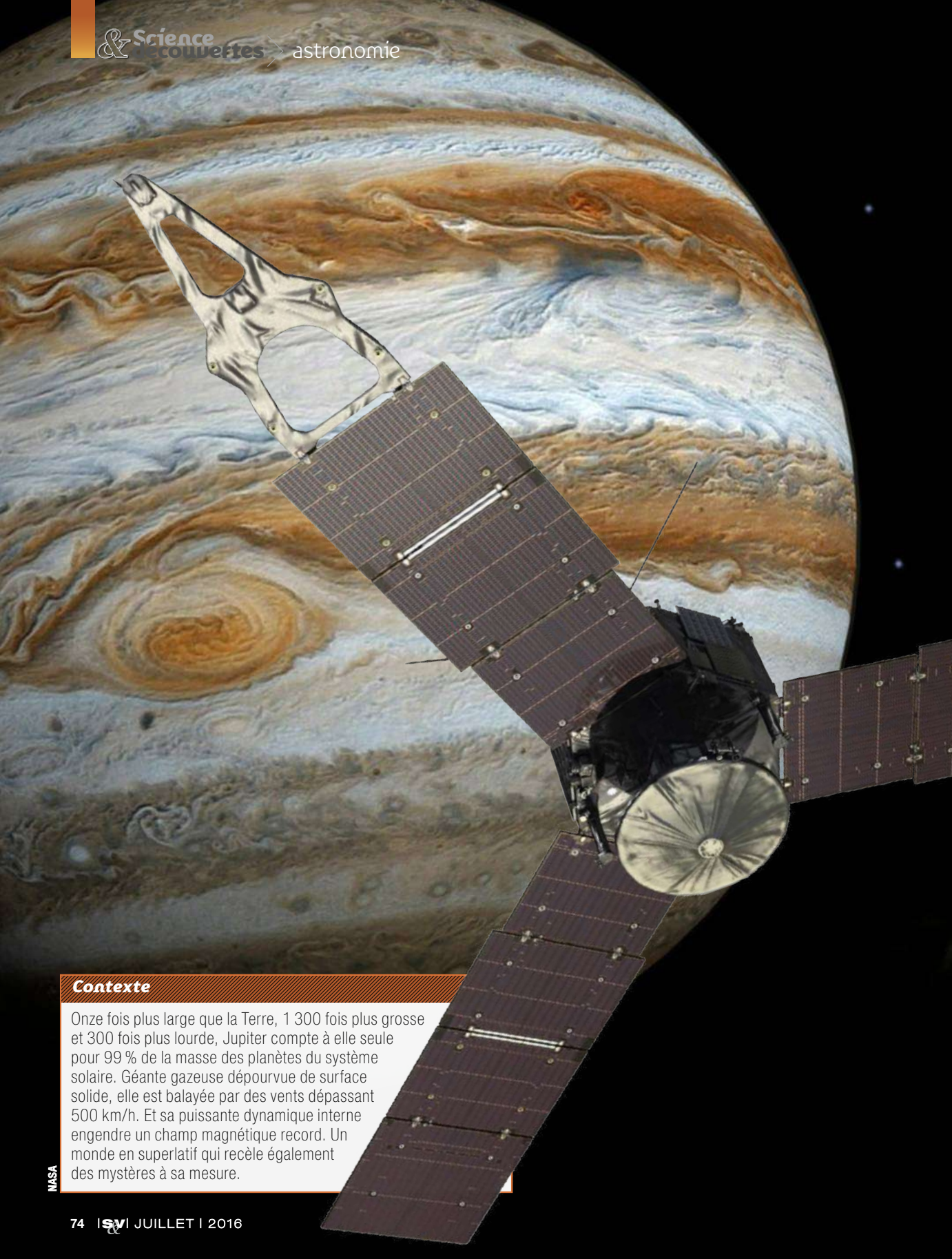
SONDE JUNO  
74



TERRE VERTE  
80



ORIGINE DE LA VIOLENCE  
86



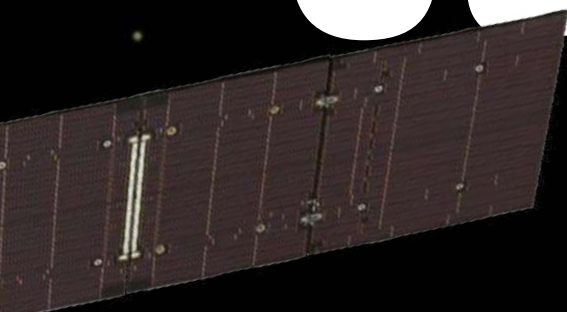
### Contexte

Onze fois plus large que la Terre, 1 300 fois plus grosse et 300 fois plus lourde, Jupiter compte à elle seule pour 99 % de la masse des planètes du système solaire. Géante gazeuse dépourvue de surface solide, elle est balayée par des vents dépassant 500 km/h. Et sa puissante dynamique interne engendre un champ magnétique record. Un monde en superlatif qui recèle également des mystères à sa mesure.

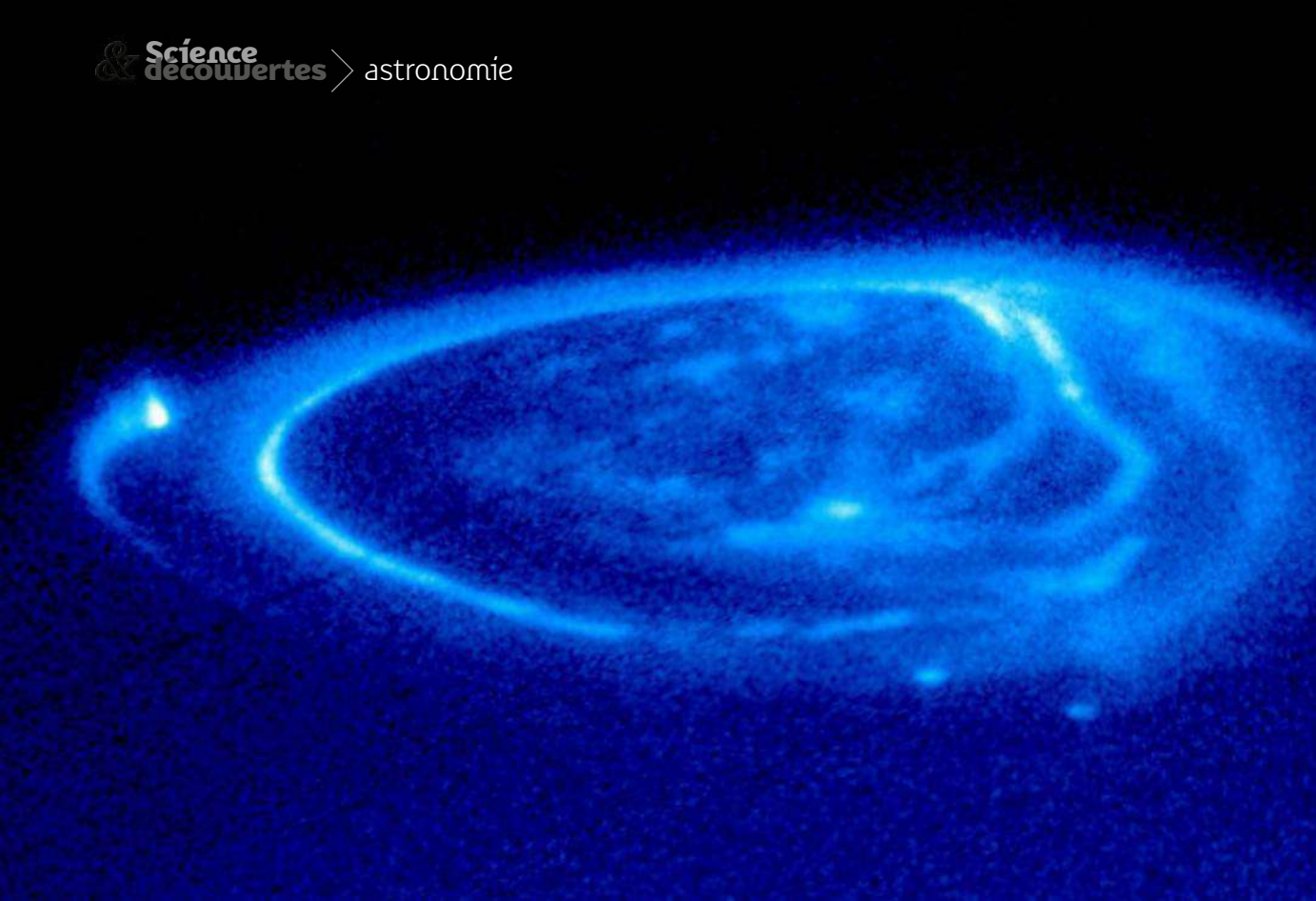
## Sonde Juno

A l'assaut  
des derniers  
mystères de

# Jupiter



Le 4 juillet, après cinq années de voyage, la sonde *Juno* arrive enfin au terme de son voyage : Jupiter. Dès lors, sa mission commencera : percer les ultimes secrets de la planète la plus massive du système solaire. Car celle-ci recèle des énigmes proprement jupitériennes. **Mathieu Grousson** a dressé la liste des quatre principales, que *Juno* a un an pour élucider.



## Le mystère des **rayures**

D'où viennent ces gigantesques rayures ocre qui zèbrent la planète d'un pôle à l'autre ? On sait que ces bandes traduisent des vents puissants de 350 à 550 km/h qui font le tour de Jupiter alternativement dans le sens de sa rotation et en sens inverse. Mais d'où viennent-ils ?

La seule chose que les spécialistes peuvent affirmer, c'est que plus une planète tourne rapidement sur elle-même, plus le nombre de bandes augmente. Mais difficile d'en dire davantage. Au regard de ses 450 000 km de circonférence, et de la

nécessité de prendre en compte des échelles de moins de 100 km pour accéder aux détails des mécanismes en jeu, les bandes de Jupiter commencent à peine d'être à la portée des calculateurs actuels.

Deux théories s'affrontent. Selon les météorologistes, les rayures de Jupiter tirent leur énergie des tourbillons plus petits qui s'insèrent entre elles. Ceux-ci résultant pour l'essentiel des contrastes de température en surface liés à l'apport d'énergie solaire. A l'inverse, pour les spécialistes des intérieurs planétaires, cette

structure en bandes résulte des mouvements de convection internes à la planète, eux-mêmes animés par un flux de chaleur de l'intérieur.

Pour trancher la controverse, "Juno va pour la première fois cartographier avec une précision suffisante le champ de gravité de la planète géante, dont les détails dépendent de la répartition de la matière à l'intérieur et en particulier de la dynamique des bandes", explique Pierre Drossart, au Lesia.

S'il s'avère que les bandes sont un phénomène superficiel, qui s'évanouit au-delà

# Le mystère des aurores

Quels mécanismes déclenchent en permanence ces ravissants cataclysmes électromagnétiques, 100 fois plus intenses que nos aurores boréales ? Comme ici-bas, les aurores joviennes résultent de l'accélération d'un plasma électronique dans la magnétosphère de la planète, qui frappe l'atmosphère au niveau des pôles et l'illumine. Sauf que sur notre planète, le phénomène est totalement contrôlé par le flux de particules chargées en provenance de notre étoile.

La géante, elle, reçoit un vent solaire 25 fois moins dense, dégage un champ magnétique 15 fois plus fort

que celui de la Terre en surface et tourne sur elle-même 2,5 fois plus vite. Conséquence : les monstrueux courants électro- niques qui se déversent aux pôles résultent d'une compétition complexe entre la tendance du plasma à tourner avec la planète, entraîné par son champ magnétique, et à être éjecté vers l'espace sous l'effet des forces centrifuges.

*Juno* va étudier sur place ce scénario. En survolant les pôles une trentaine de fois – une première pour une sonde jovienne –, elle va cartographier le champ magnétique de la géante avec une précision inégalée, là où sa structure est la

plus déterminante pour l'ensemble des phénomènes impliqués. *"Parce que la plupart des lignes de champ magnétique se connectent à la planète près des pôles, la structure changeante des aurores est un peu comme un miroir dans lequel se lit l'ensemble de la dynamique de la magnétosphère de Jupiter"*, précise Philippe Zarka, au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lesia), à Meudon.

Filmées par la sonde en ondes UV et radio, les plus belles aurores du système solaire vont ainsi devenir un véritable laboratoire grandeur nature pour les physiciens des plasmas.

## < UNE INTENSITÉ INEXPLIQUÉE

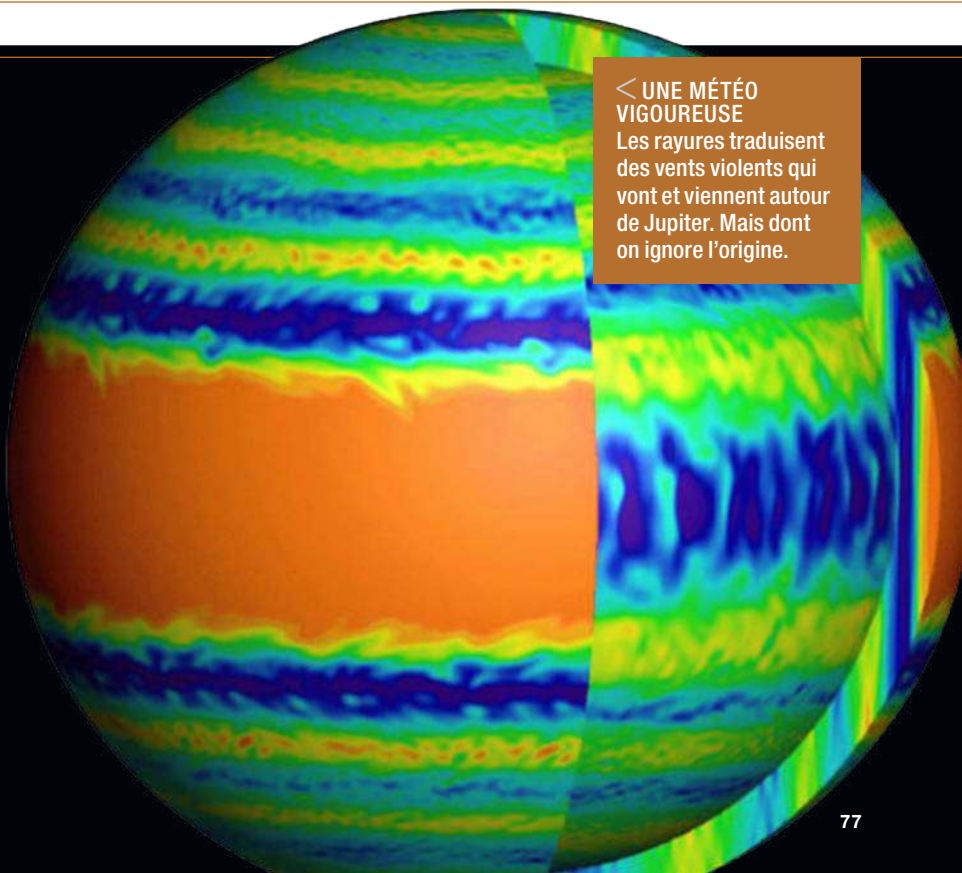
Ces aurores, les plus intenses du système solaire, ne s'éteignent jamais... On ne sait pas pourquoi.

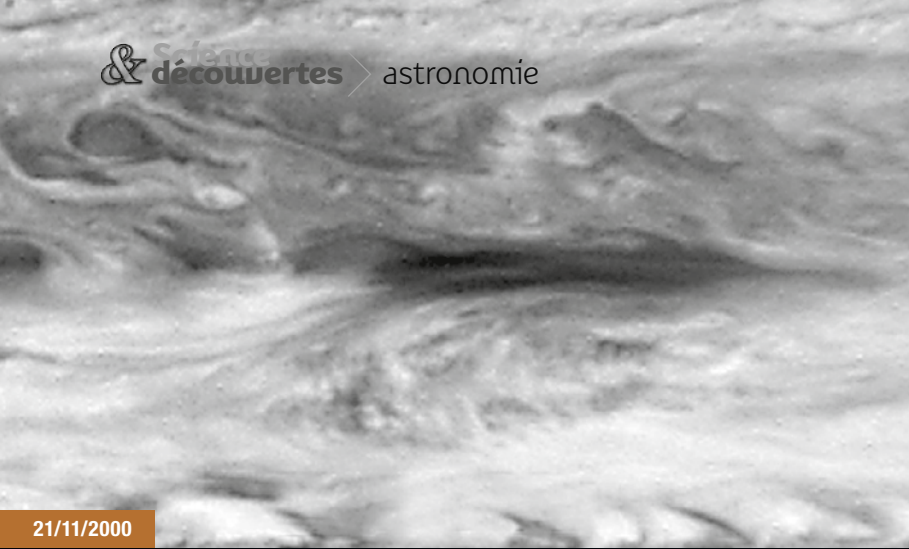
de 100 km sous la surface, alors les experts concluront à la validité du premier scénario. Si, au contraire, Jupiter exhibe une structure en bandes sur plusieurs milliers de kilomètres de profondeur, le second scénario l'emportera.

A moins qu'une situation intermédiaire oblige les spécialistes à se mettre d'accord et admettre que les deux phénomènes coexistent dans Jupiter... *"Dans tous les cas, on va enfin savoir"*, s'enthousiasme Aymeric Spiga, au Laboratoire de météorologie dynamique, à Paris.

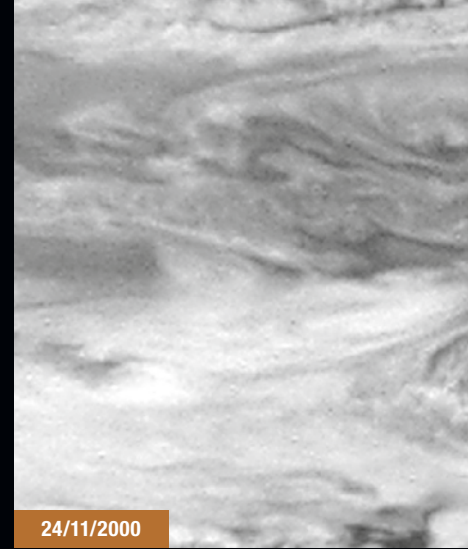
## < UNE MÉTÉO VIGOUREUSE

Les rayures traduisent des vents violents qui vont et viennent autour de Jupiter. Mais dont on ignore l'origine.

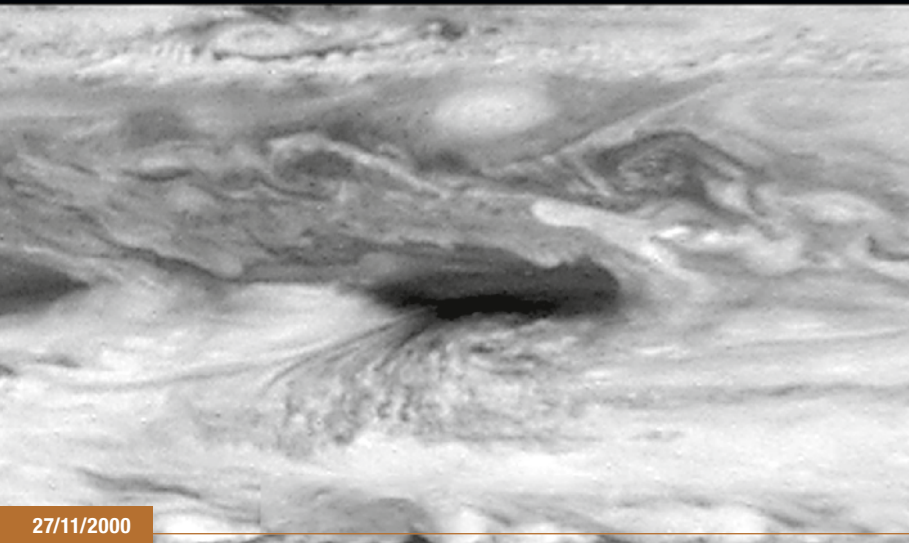




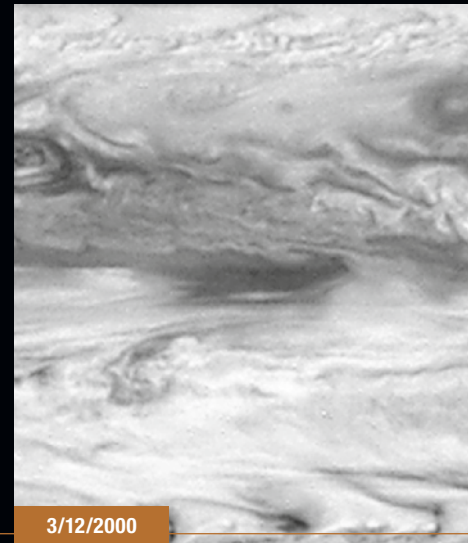
21/11/2000



24/11/2000



27/11/2000



3/12/2000

# Le mystère de l'eau

C'était l'une des grosses surprises de la mission Galileo. D'après les mesures effectuées par la sonde lors de sa plongée suicidaire dans l'atmosphère de Jupiter, en 1995, celle-ci serait très pauvre en eau. Or, selon le scénario en vigueur, la formation des géantes du système solaire n'est possible qu'à partir d'un matériau originel riche en glace d'eau...

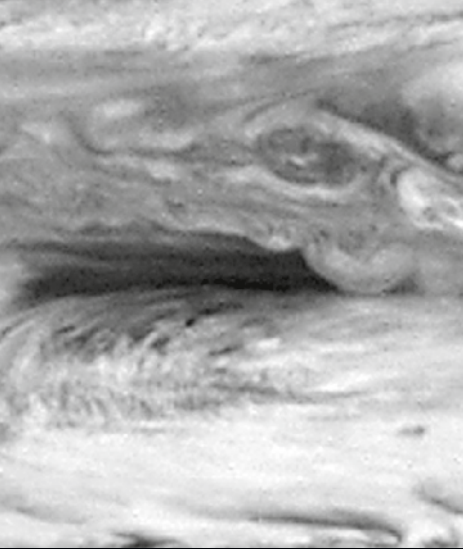
Pour expliquer cette anomalie, les spécialistes se raccrochent à la trajectoire suivie par la sonde, qui serait tom-

bée dans une zone soumise à de puissants courants descendants la privant de nuage. Un peu comme si une sonde extraterrestre chargée de mesurer l'eau terrestre s'abîmait dans le désert d'Atacama... Mais, comme le confie Thérèse Encrenaz, à l'Observatoire de Meudon, "nous n'en aurons la certitude que lorsque la mesure aura été refaite de manière indépendante".

D'où l'objectif du radiomètre de *Juno* de mesurer l'abondance d'eau dans les couches

internes de Jupiter jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur, et ce en différents endroits.

A priori, peu de scientifiques parient sur une confirmation des résultats obtenus par *Galileo*. "A moins que Jupiter, après la formation de son noyau dans une région riche en glace, ait acquis son enveloppe gazeuse dans une région pauvre en oxygène", suggère Olivier Mousis, au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Resteraient alors aux spécialistes de la forma-



< **UNE ANOMALIE PAR RAPPORT AU MODÈLE**  
Ces trouées intermittentes dans l'atmosphère expliquent peut-être le déficit d'eau mesuré par *Galileo* en 1995.

tion planétaire à expliquer comment.

Si bien que la plupart des planétologues s'attendent plutôt à voir l'abondance d'eau de Jupiter revue à la hausse par *Juno*. Il est même possible qu'*in fine* elle dépasse largement celle des autres éléments lourds. Certains modèles prévoient en effet que les blocs primitifs de Jupiter soient essentiellement composés de clathrates, des composés spécialement riches en eau. Réponse imminente.

# Le mystère du **noyau**

Mais qu'est devenu le cœur rocheux de Jupiter? Les modèles théoriques l'affirment: les géantes se sont formées en deux étapes. Dans un premier temps, des blocs de roches et de glaces ont constitué un noyau d'environ 10 masses terrestres. Puis la gravité de celui-ci est devenue assez forte pour attirer une gigantesque enveloppe gazeuse. Jupiter a-t-elle gardé une trace de ce noyau primitif?

Comme l'explique Tristan Guillot, à l'Observatoire de la Côte d'Azur, *"il se peut que, lors de la phase finale de la formation de Jupiter, une fraction significative de son noyau, voire la totalité, ait été érodée et se soit diluée dans le reste de la planète"*. Et, à ce jour, l'analyse de son champ de gravité, assez sommaire, suggère autant la présence d'un noyau de 15 masses terrestres

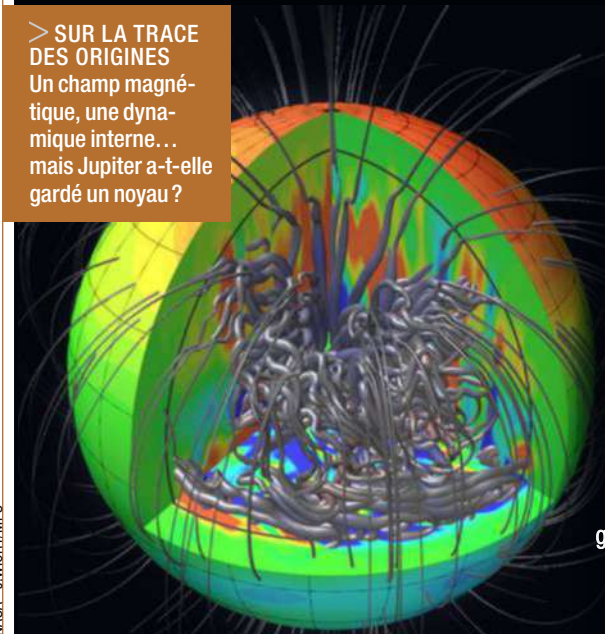
que... pas de noyau du tout. Pour trancher, *Juno* a pour objectif de mesurer avec 100 fois plus de précision la gravité de Jupiter, grâce notamment à une orbite qui la fera passer, au plus près, à 5 000 km de sa surface. A quoi s'ajouteront des mesures magnétiques, y compris dans les régions polaires, ce qu'aucune sonde n'a encore jamais réalisé.

Si aucune trace d'un noyau solide n'est détectée, il faudra alors admettre que l'océan d'hydrogène liquide présent sous l'épaisse atmosphère de la géante, au-delà de 20 000 km, s'étend jusqu'en son centre. Et qu'il ne reste rien de son origine. Si, à l'inverse, demeure une graine rocheuse et glacée, les planétologues qui vont sonder ses entrailles pourront remonter le temps jusqu'à l'époque de sa formation.

## > SUR LA TRACE DES ORIGINES

Un champ magnétique, une dynamique interne... mais Jupiter a-t-elle gardé un noyau?

NASA - J.WICHTIMPS



A consulter :  
le site de la mission *Juno* ;  
le site de *Galileo*, la dernière grande mission à destination de Jupiter.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

### Chronologie

– **4 100 millions d'années (Ma)** : apparition de la vie en milieu aquatique. – **470 Ma** : premières plantes terrestres. – **400 Ma** : premiers vertébrés hors de l'eau. – **390 Ma** : les plantes se dotent de racines, les forêts se forment.



## Origine de la végétation

# LE NOUVEAU SCENARIO

Quittant ses origines aquatiques, la vie a pris pied sur la terre ferme il y a 470 millions d'années. De bleue, notre planète devint verte. Mais les plantes n'ont pas réalisé cet exploit seules, révèle **Anne Debroise**. Un champignon est le héros méconnu de cet événement qui a changé la face du monde.

**I**ncroyable magie de l'évolution ! Aujourd'hui, on comprend enfin comment notre planète s'est soudain couverte de végétation. Mais quelle surprise de constater que cet événement, sans doute le plus spectaculaire que la Terre ait connu, repose sur un bricolage évolutif totalement improvisé. Un bricolage qui fait intervenir un acteur clé, microscopique, dont on avait sous-estimé l'importance.

Quel fut donc le premier héros de la conquête terrestre ? On a en tête l'image d'un être étrange, mi-serpent de mer, mi-lézard, se hissant le premier sur une berge... Rembobinez !

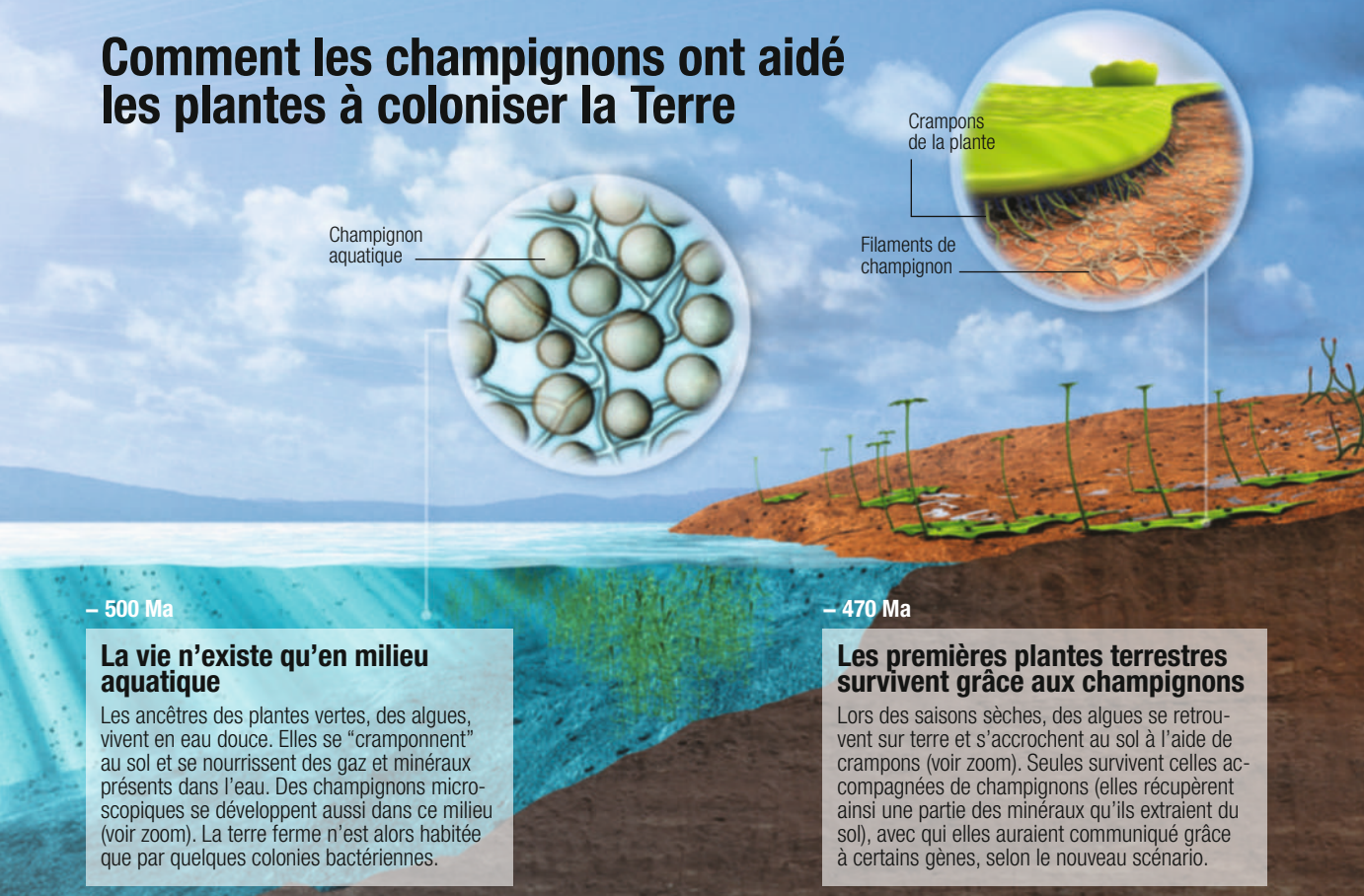
Le vrai héros, ce n'est pas lui. Lorsque les premiers vertébrés sont sortis de l'eau, il y a 400 millions d'années, la terre ferme présentait déjà un aspect accueillant, avec ses tapis de verdure et ses forêts capables d'assurer le gîte et le couvert. Soixante-dix millions d'années auparavant, les plantes s'étaient montrées plus téméraires. Les fossiles témoignent que ce sont elles qui osèrent, les premières, sortir d'un environnement aquatique gorgé de nourriture pour passer à un sol dur et pauvre en nutriments.

Ne sous-estimons pas l'exploit. Cela faisait alors plus de 3,5 milliards d'années que la

vie foisonnait dans les océans et les cours d'eau. Pendant tout ce temps, la terre ferme était restée un environnement hostile, minéral, rocailleux, incapable de nourrir le moindre brin d'herbe ou d'abriter le moindre insecte.

Et le fait que notre planète ait longtemps été bombardée de rayonnements ultraviolets n'explique pas tout. *"On peut être surpris que la Terre ait été colonisée aussi tard, note Marc-André Selosse, du Muséum national d'histoire naturelle. Quand cela s'est enfin produit, la couche d'ozone s'était formée depuis déjà plus de 100 millions d'années, protégeant des*

# Comment les champignons ont aidé les plantes à coloniser la Terre



- 500 Ma

## La vie n'existe qu'en milieu aquatique

Les ancêtres des plantes vertes, des algues, vivent en eau douce. Elles se "cramponnent" au sol et se nourrissent des gaz et minéraux présents dans l'eau. Des champignons microscopiques se développent aussi dans ce milieu (voir zoom). La terre ferme n'est alors habitée que par quelques colonies bactériennes.

- 470 Ma

## Les premières plantes terrestres survivent grâce aux champignons

Lors des saisons sèches, des algues se retrouvent sur terre et s'accrochent au sol à l'aide de crampons (voir zoom). Seules survivent celles accompagnées de champignons (elles récupèrent ainsi une partie des minéraux qu'ils extraient du sol), avec qui elles auraient communiqué grâce à certains gènes, selon le nouveau scénario.

→ *UV les espèces qui se seraient aventurées hors de l'eau."*

Pour un évolutionniste, un tel délai n'a qu'une explication : les organismes capables de survivre sur terre devaient présenter un ensemble de caractères hors du commun. De ceux qui nécessitent un peu plus qu'une poignée de mutations. Un saut évolutif bien plus complexe que l'invention des pattes...

### UNE ASSOCIATION COMPLEXE

Les ancêtres des plantes, des algues d'eau douce, ne sont en effet absolument pas équipés pour survivre hors de l'eau. Ces algues tirent les gaz et les minéraux dont elles se nourrissent du liquide dans lequel elles baignent. Celles qui

s'accrochent au fond ne possèdent qu'un crampon rudimentaire, incapable de soutirer des nutriments au sol.

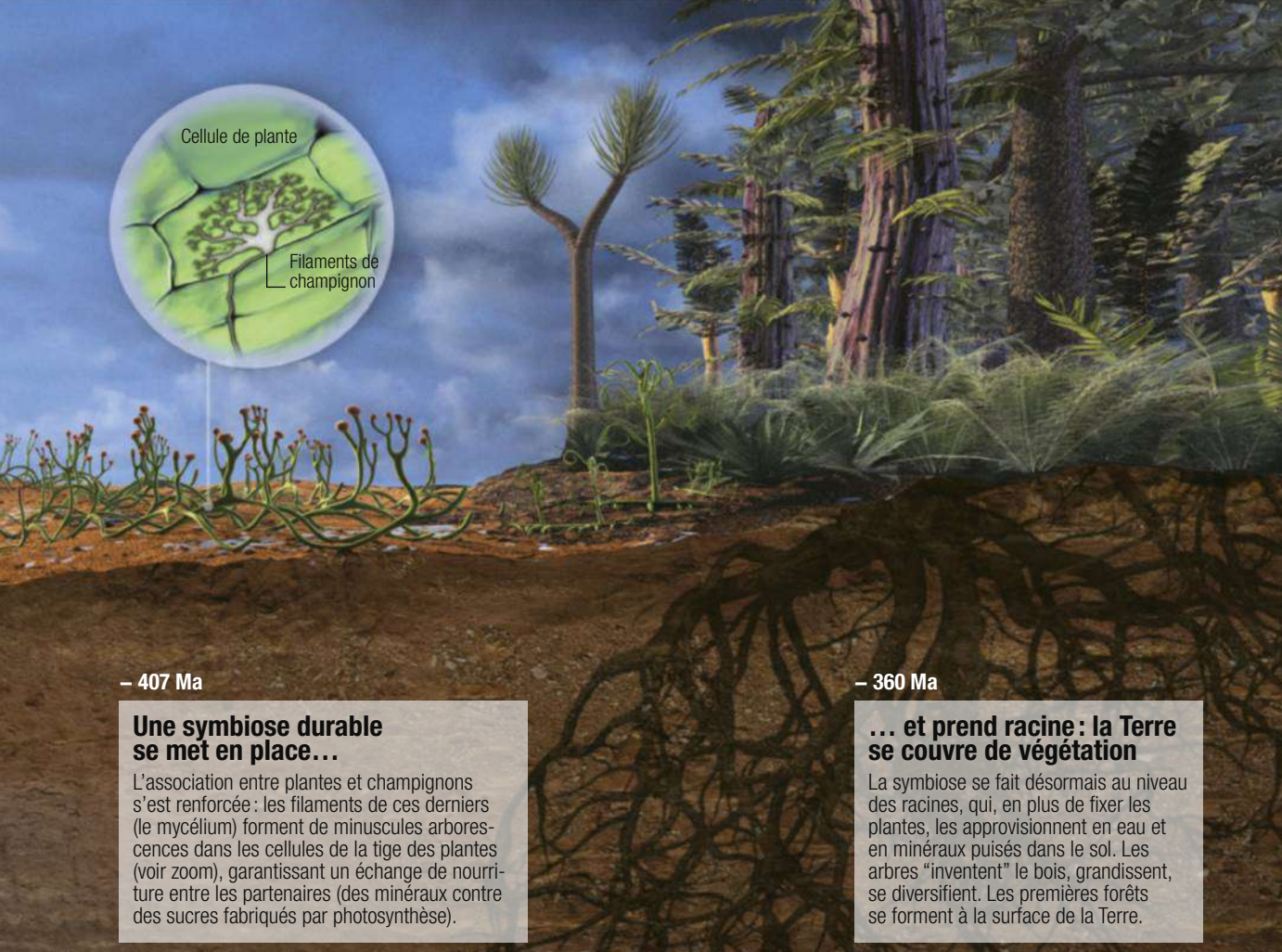
Rien à voir avec le système racinaire complexe des plantes actuelles.

La grande majorité des plantes terrestres vit en symbiose avec les champignons. Grâce à leurs longs filaments, le mycélium, ces derniers explorent un grand volume de sol, tout en étant intimement liés, à l'autre extrémité, aux cellules racinaires de la plante, avec lesquelles ils communiquent via des signaux chimiques spécifiques. Cette association entre racines et mycélium, appelée mycorhize, permet aux deux partenaires d'échanger de la nourriture (des

minéraux contre des sucres) et de se protéger mutuellement des parasites du sol, de la sécheresse et de diverses toxines.

Longtemps, les scientifiques ont pensé qu'une relation aussi complexe devait être le fruit d'une longue évolution. "*Le paradigme, au XX<sup>e</sup> siècle, c'était que les plantes étaient arrivées sur terre sans mycorhize*", explique Marc-André Selosse. *En effet, bien que ce soit rare, certaines plantes terrestres, comme celles de la famille des choux, des radis ou du quinoa, s'en passent très bien."*

Selon ce scénario, les premières plantes auraient vécu dans des niches riches en minéraux, puis auraient développé des racines et, petit à



– 407 Ma

### Une symbiose durable se met en place...

L'association entre plantes et champignons s'est renforcée : les filaments de ces derniers (le mycélium) forment de minuscules arborescences dans les cellules de la tige des plantes (voir zoom), garantissant un échange de nourriture entre les partenaires (des minéraux contre des sucres fabriqués par photosynthèse).

– 360 Ma

### ... et prend racine : la Terre se couvre de végétation

La symbiose se fait désormais au niveau des racines, qui, en plus de fixer les plantes, les approvisionnent en eau et en minéraux puisés dans le sol. Les arbres "inventent" le bois, grandissent, se diversifient. Les premières forêts se forment à la surface de la Terre.

petit, construit une relation durable avec les champignons.

Sauf que ce scénario, aujourd'hui, ne tient plus.

Le doute commence à germer en 1994, lorsque le biologiste allemand Winfried Remy et son collègue américain Thomas Taylor se repenchant sur des plantes fossiles datant de 407 millions d'années, découvertes il y a plus de cent ans à Rhynie, en Écosse : ils observent de minuscules arborescences formées par des filaments de champignon à l'intérieur des cellules de plantes fossilisées. D'autres descriptions de cette symbiose, réalisées sur plusieurs plantes de Rhynie, suivent en 2005 et 2007. Toutes semblent désigner un même

champignon, proche des glomérromycètes actuels.

La relation entre plantes et champignons s'est donc tissée plus vite que ce que pensaient les chercheurs : ces fossiles semblent témoigner de son émergence 70 millions d'années après la colonisation de la terre par les plantes.

Mais la biologie moléculaire va balayer cette idée. En 2010, à l'université du Wisconsin (Etats-Unis), Jean-Michel Ané dresse l'arbre phylogénétique de trois gènes impliqués dans la symbiose mycorhizienne. "On les retrouve chez quasiment toutes les lignées de plantes mycorhizées actuelles. Ce qui montre que ces trois gènes remontent au moins à

*"l'origine des plantes terrestres",* s'enthousiasme le chercheur.

En paléontologie aussi, les indices s'accroissent. Entre 2012 et 2016, d'autres fossiles de symbioses plantes-champignons sont découverts, notamment par Christine Strullu-Derrien, chercheuse associée au Muséum d'histoire naturelle de Londres : "En plus du champignon de type glomérromycètes, nous en avons observé un autre, très différent, qui ressemble à un champignon dont les traces ont été identifiées dans des sols datés de 470 millions d'années."

Le coup de grâce est porté en 2014 par Jean-Michel Ané et ses collègues. Avec le projet "1 000 plantes", qui réunit

→ depuis 2008 des dizaines d'équipes dans le monde afin de décrypter les gènes exprimés par 1 000 espèces de plantes actuelles, ils disposent en effet d'un fantastique outil.

En comparant les génomes de plantes mycorhiziennes et non-mycorhiziennes, les chercheurs identifient 174 gènes constituant un "kit" d'outils indispensables à la symbiose avec les champignons. Puis ils

elle donc établie? Fin 2015, Jean-Michel Ané et Pierre-Marc Delaux obtiennent la réponse, surprenante: le kit génétique nécessaire à la symbiose avec les champignons est présent chez les algues actuelles les plus proches des plantes terrestres. Mieux: en simulant les modifications qu'ont dû subir ces séquences génétiques au fil de l'évolution, l'équipe affirme qu'il était à coup sûr présent

*préférez, le bricolage de l'évolution!"* Jusqu'ici, l'exemple le plus connu de néofonctionnalisation était l'apparition chez des poissons d'Antarctique de protéines antigel. Le coup de théâtre, ici, est autrement plus spectaculaire: quand les premières plantes se sont retrouvées sur la terre ferme (à la faveur de saisons sèches, par exemple), celles qui étaient accompagnées de champignons ont survécu en communiquant avec ces derniers grâce à des gènes dont leurs ancêtres, les algues, devaient se servir pour tout autre chose – même si personne ne sait pour quoi...

De quoi réécrire entièrement le scénario de l'invasion des plantes vertes (voir l'infographie), avec un héros enfin réhabilité: le champignon.

Ce fut l'un des plus beaux succès de l'histoire de la vie. En quelques dizaines de millions d'années, il a bouleversé l'équilibre biogéochimique mondial, pompé de grandes quantités de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, refroidi le climat, augmenté l'emprise des glaces polaires, baissé le niveau des mers... ce qui a accéléré encore l'invasion et la diversification des plantes terrestres.

Et c'est ce petit bricolage génétique, que personne n'avait imaginé, qui a, littéralement, changé la face de la Terre.

## La symbiose oubliée par l'agriculture ?

**Voilà 470 millions d'années que la symbiose mycorhizienne permet aux plantes de s'épanouir dans des sols aux ressources minérales peu accessibles. Un système pourtant contourné par l'agriculture intensive. "Les variétés sélectionnées dans ce contexte de haute fertilité, nourries aux engrais, ont parfois perdu l'usage de la symbiose, s'inquiète Marc-André Selosse. Or, les champignons protègent aussi les plantes contre certains toxiques et microbes pathogènes." Résultat: des cultures plus fragiles, qu'il faut traiter et nourrir encore plus. Pour briser ce cercle vicieux, le chercheur plaide pour recréer les conditions d'une symbiose mycorhizienne.**

reconstituent l'histoire de ce kit grâce à leurs algorithmes. "Il n'y a plus de doute: ces gènes étaient présents chez l'ancêtre commun aux plantes terrestres, assure le premier auteur de la publication, Pierre-Marc Delaux, aujourd'hui au Laboratoire de recherche en sciences végétales (CNRS, Toulouse). Même chez les ancêtres des plantes actuelles qui ne dépendent pas de la symbiose. Si elles ne les ont plus aujourd'hui, c'est qu'elles les ont perdus au fil de l'évolution."

Le scénario officiel de la sortie des eaux s'écroule. Et le nouveau scénario ne semble pas facile à écrire: à quel moment de l'évolution la symbiose s'est-

chez l'ancêtre commun aux plantes et aux algues.

Cette découverte sonne comme une énigme: pourquoi un ensemble de gènes permettant la symbiose avec des champignons terrestres équiperaient-il des algues qui n'en ont absolument pas l'utilité?

### DES GÈNES DÉTOURNÉS

*"Ce n'est pas si étonnant, rétablit Pierre-Marc Delaux. Chez les algues, ces gènes devaient avoir une autre fonction. Au moment de la conquête terrestre, ils ont été recrutés pour interagir avec des champignons qui se sont eux aussi retrouvés sur terre. Cela s'appelle la néofonctionnalisation. Ou, si vous*



A lire : un dossier sur la flore de Rhynie ; *La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons*, J. Garbaye (éd. Quae, 2013) ; *La symbiose : structures et fonctions, rôle écologique et évolutif*, M.-A. Selosse (éd. Vuibert, 2000).

★  
EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com

★ MUSÉE DU QUAI BRANLY  
là où dialoguent les cultures

10  
ans  
2006-2016



# PERSONA

étrangement humain

#ExpoPersona

[www.quaibrantly.fr](http://www.quaibrantly.fr)

Exposition  
jusqu'au 13/11/16



m-ticket - FNAC Tick&Live - Fnac 0 892 684 694 (0,34€/minute) [www.fnac.com](http://www.fnac.com) - Ticketmaster 0 892 390 100 (0,34€/minute) [www.ticketmaster.fr](http://www.ticketmaster.fr) - Digitick 0 892 700 840 (0,34€/minute) [www.digitick.com](http://www.digitick.com)

© Mechanical Avalokitesvara Ver-Sun, Wang Zi Won, photo : Wang Zi Won



## *Massacre de Nataruk*

# Une autre histoire de la violence

Alors qu'on pensait la capacité à tuer en masse née avec les sociétés sédentaires, la découverte d'un massacre vieux de 10 000 ans réinterroge l'origine de notre violence collective. **Simon Devos** nous dit pourquoi.

**L**a scène s'est passée il y a près de 10 000 ans, dans une petite plaine située près du lac Turkana, immense havre de diversité au milieu des étendues désertiques du nord du Kenya.

Un homme, couché sur le ventre, a été mortellement touché à la tête par au moins deux projectiles, dont un est resté planté dans son crâne; un autre présente de multiples fractures sur la face avant; une jeune

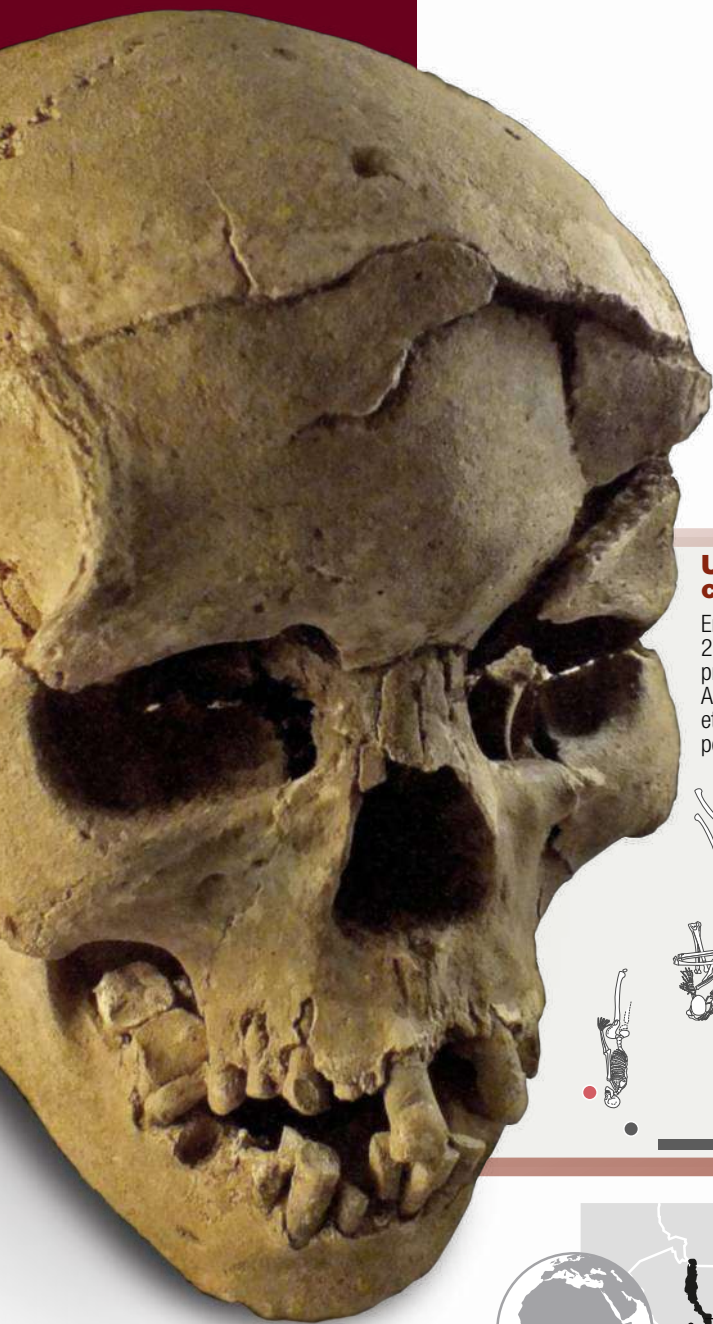
femme, enceinte au moment de sa mort, est assise avec les mains placées entre les jambes, comme si elle avait été ligotée; d'autres squelettes présentent une position similaire, dont une autre femme qui semble avoir eu les deux genoux et le pied gauche brisés.

En tout, 27 cadavres affleurent le sol rocailleux.

Ce site macabre, baptisé Nataruk, "le lieu des vautours", a été découvert en 2012. Ce n'est

pas un cimetière, car ici personne n'a pris la peine d'inhumier les corps ni de leur rendre hommage. C'est une scène de massacre. Un assassinat collectif qui réinterroge profondément l'histoire de la violence humaine.

Les anthropologues du monde entier considèrent la région du lac de Turkana comme un endroit unique – au point que certains y voient le berceau de l'humanité. Mais,



### Un charnier composé de 27 chasseurs-cueilleurs tués et abandonnés sur place

En 2012, à Nataruk, les restes de 27 chasseurs-cueilleurs, dont 11 corps presque entiers, ont été découverts. Aucun n'avait été enterré. Hommes et femmes ont été retrouvés dans la position dans laquelle ils sont tombés.



### Repères

Situé à l'extrémité nord du Kenya et débordant sur l'Éthiopie, le lac Turkana, le plus grand des lacs de désert avec 6 000 km<sup>2</sup>, est le paradis des paléanthropologues : pas moins de huit espèces d'hominiidés y ont été détérrées, d'*Australopithecus anamensis* à *Homo sapiens*, retraçant près de 5 millions d'années de présence continue. Au point que certains chercheurs y voient le berceau de l'humanité (voir S&V n°1183, p. 82).

comme le souligne la paléontologue de l'université de Cambridge Marta Mirazón Lahr, qui a mené ces recherches, "c'est la première fois que l'on retrouve un tel charnier naturel, dans lequel les corps sont restés tels quels pendant plusieurs milliers

d'années sans avoir été enterrés par l'homme".

Pourquoi ces corps sont-ils si bien conservés? A l'époque du massacre, qui a pu être déterminée grâce à plusieurs coquillages récoltés dans la fine couche sédimentaire en surplomb des squelettes, →

→ le lac Turkana était beaucoup plus étendu qu'aujourd'hui et un petit lagon apparaissait au sud-ouest de celui-ci. Le site de Nataruk correspondait alors à une plage marécageuse donnant sur ce lagon. "Normalement, les ossements de cette époque ne sont pas en très bon état : ils sont soit déchiquetés et dispersés par des charognards, soit érodés par les éléments naturels", complète Marta Mirazón Lahr. Or, la présence du lagon a permis d'ensevelir rapidement les corps et de les conserver sous terre tels quels, ce qui explique leur état exceptionnel. A la longue, le vent et la pluie ont ensuite érodé le sol, mettant au jour les ossements.

En découvrant l'agencement des squelettes, qui semblent presque tous en position de détresse, les anthropologues réalisent qu'ils n'ont pas affaire à un site quelconque. Sortant



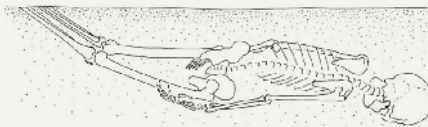
**MARTA MIRAZÓN LAHR**

Paléoanthropologue, université de Cambridge (Royaume-Uni)

*C'est la première fois qu'on retrouve un tel charnier où les corps n'ont pas été enterrés*

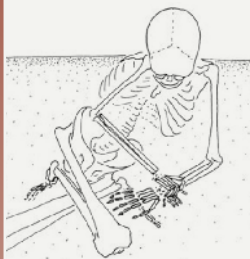
### Chaque corps témoigne d'un massacre et d'exécutions

En recourant aux techniques de la police scientifique, les archéologues ont réussi à établir les causes du décès des 27 individus exhumés. La présence importante de femmes laisse penser qu'il pourrait s'agir d'une tribu désarmée victime d'un raid.



#### Un homme au crâne et aux genoux broyés

Cet homme a été frappé à la tête par au moins deux projectiles, mais aussi sur les genoux par un instrument contondant.



#### Une femme retenue attachée

La position des mains de cette femme, violemment frappée au thorax, aux genoux et au pied gauche, laisse penser qu'elles étaient ligotées.

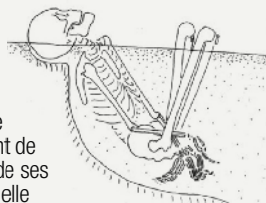


#### Des coups mortels portés à la tête

Cette femme a reçu un coup sur le haut du crâne, qui a fracturé l'os frontal, et a été frappée par une pointe acérée à la base du cou.

#### Une femme tuée enceinte

Les recherches ont révélé que cette femme était en fin de grossesse au moment de sa mort. La position de ses membres montre qu'elle était aussi attachée.



#### Des signes d'acharnement

Ce squelette montre que plusieurs coups ont souvent été donnés : ici sur le visage, mais également sur le côté droit du crâne, frappé par un projectile.

^ Ces hommes et ces femmes ont été assassinés dans une zone marécageuse, qui a peu à peu recouvert leurs corps, les protégeant pendant 10 000 ans. De là leur état de conservation exceptionnel.

quelque peu de leur rôle traditionnel, ils décident de l'étudier avec la minutie d'une brigade de la police scientifique sur une scène de crime – les quelques blessures décrites plus haut ne sont que les premières de la longue liste établie. "Même s'il est impossible de reconstituer les faits avec certitude, cela ressemble bien à une scène de bataille, voire à une exécution", conclut Aurélien Mounier, de l'université de Cambridge, qui a participé à l'expédition.

### VENUS DE CONTRÉES LOINTAINES

Mais c'est une information complémentaire qui rend la scène vraiment fascinante. "Nous n'avons trouvé aucune trace de campement ou de terrain agricole à proximité, certifie Marta Mirazón Lahr. Tout ce que nous avons, ce sont des outils en pierre taillés notamment pour la chasse et des harpons pour la pêche." En particulier, une obsidienne a été retrouvée fichée dans un des ossements. Cette roche volcanique est très rare, voire inexistante dans la





région du lac Turkana, ce qui indique que les assaillants venaient probablement d'une contrée plus lointaine.

Tout porte donc à croire que les victimes retrouvées à Nataruk, comme leurs assaillants, n'étaient pas encore sédentarisées, ce mode de vie ne s'étant pas généralisé avant 9 000 ans avant notre ère, et qu'ils vivaient surtout de la chasse et de la pêche.

Et cela change tout.

En effet, jusqu'à présent, les cas les plus anciens de violence chez nos ancêtres chasseurs-cueilleurs ne faisaient généralement état que

d'une ou deux victimes. Des événements relevant davantage de règlements de compte que d'affrontements entre groupes.

Chronologiquement, les premières preuves de batailles rangées n'arrivent qu'après la sédentarisation des hommes, comme sur le site de Djebel Shababa, au Soudan (lire l'encadré p. 90). Ce qui tendait à montrer que la violence, du moins sous sa forme collective, était apparue tardivement chez l'homme, au moment où celui-ci développait l'élevage et l'agriculture.

L'explication avancée jusqu'ici? Les sociétés nouvelles auraient rapidement pu

accumuler richesses, nourritures et terres agricoles, ce qui aurait suscité l'envie chez leurs voisins et favorisé l'apparition de conflits. Cette position était notamment celle de Jean-Jacques Rousseau, qui pensait que l'homme sauvage était sujet à peu de passions, mais qu'il avait été entraîné dans la cruauté et la violence par *"la société naissante"*.

### ROUSSEAU AVAIT DONC TORT

La notion de possession, liée à celle de sédentarisation, serait donc à l'origine des guerres et des affrontements depuis plusieurs milliers d'années. Et si les populations de chasseurs-cueilleurs actuelles font preuve de violence, ce serait parce qu'elles sont entrées en contact avec nos sociétés sédentaires guerrières.

Sauf que la découverte du site de Nataruk remet en question cette vision rousseauiste.

Vu l'omniprésence de la violence sur la scène, il ne peut s'agir d'un petit règlement de compte entre chasseurs-cueilleurs, mais bien d'un véritable conflit, ayant manifestement donné lieu à des exécutions. Ces chasseurs-cueilleurs semblaient même déjà être passés maîtres dans l'art d'infliger la violence à leurs congénères...

*"C'est une découverte ahurissante"*, lâche Richard Wrangham, primatologue à l'université Harvard (Etats-Unis) qui, dans la lignée du philosophe anglais Thomas Hobbes, doutait déjà de ce lien entre sédentarisation et violence. *"Le groupe des assaillants avait probablement un avantage conséquent sur ses adversaires pour les massacrer ainsi, poursuit-il. Des armes sophistiquées, peut-être du feu... C'est*



**RICHARD WRANGHAM**  
Primatologue, université Harvard  
(Etats-Unis)

*C'est une découverte ahurissante !  
Ces chasseurs-cueilleurs devaient  
déjà disposer d'armes sophistiquées*



MARTA MIRAZON LAHRY/FABIO LAHR - DR

→ bien au-delà de tout ce qu'on a pu trouver précédemment.”

Cela ne surprend pas vraiment Bruno Boulestin, anthropologue au laboratoire Pacea, à Bordeaux: “Si l'on se base par exemple sur les recherches ethnologiques réalisées par les jésuites au XVII<sup>e</sup> s., lorsqu'ils ont découvert des chasseurs-cueilleurs isolés d'Amérique, on comprend bien que la violence fait partie de toute l'histoire

sert de point de départ pour les débats. Mais en pratique, Nataruk montre qu'il n'a pas fallu attendre la sédentarisation pour voir apparaître la violence collective chez notre espèce.

Même chez les rousseauistes, on reconnaît que le site est exceptionnel. “Il y aura encore du travail, notamment pour s'assurer que l'on a bien affaire à un conflit unique et non à plusieurs, mais il est certain qu'il

désarmée. Mais les chercheurs ont relevé une anomalie: excepté un adolescent, aucun jeune entre 6 et 20 ans n'a été retrouvé. Un fait étrange pour un groupe de cette taille.

Pourrait-il alors s'agir d'un rapt d'enfants par un groupe? Les chercheurs vont tenter de retrouver d'autres os pour vérifier cette hypothèse.

### LA PAIX, UNE LENTE CONQUÊTE

De son côté, Marta Mirazón Lahr avance une autre théorie. “Encerclé par les montagnes, le lac était à l'époque assez difficile à aborder pour les hommes. Cette plage marécageuse était un des seuls accès directs et un très bon endroit pour chasser les animaux qui venaient s'y abreuver. Le combat a donc pu éclater lors d'une dispute autour de ce petit lopin de terre.”

Dans tous les cas, le massacre de Nataruk esquisse une nouvelle histoire de la violence.

“Je vois cela comme une leçon d'humanité extraordinaire, conclut Richard Wrangham. Plutôt que de nous pousser à la guerre, la société moderne aurait pour but de nous éloigner de notre état violent de nature, La notion de paix est récente, et nous essayons tant bien que mal d'atteindre cette utopie par la vie en société.”

Dix mille ans après le massacre de Nataruk, force est de reconnaître que la route est longue...



A voir : une vidéo réalisée par *Nature* avec des modélisations en 3D.

A lire : un résumé de la pensée de Rousseau et de Hobbes.

Et, bien sûr, la publication des chercheurs.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com

## Djebel Sahaba : la première bataille sanglante

**C'est le plus ancien témoignage de combats meurtriers. Située sur la rive droite du Nil, au Soudan, la nécropole du Djebel Sahaba date d'au moins 12000 ans. Elle contient 59 corps d'hommes, femmes et enfants marqués de traces de flèches et pour partie démembrés ou décapités. Ces hommes du paléolithique n'étaient pas des chasseurs-cueilleurs et paraissent sédentarisés. Pour les archéologues Jean Zammit et Jean Guilaine, ces exécutions “pourraient être liées à l'appropriation des terres jouxtant le Nil, un espace potentiellement fourni en ressources: poissons, gibiers d'eau, mammifères fréquentant un écosystème proche du fleuve”. Si la sédentarisation s'est généralisée à partir de 9000 avant J.-C., dans la vallée du Nil, des sécheresses ont permis à des sociétés nouvelles de s'y installer durablement plus tôt.** M.-A.P.

humaine, même chez ces populations non sédentaires. C'est un rapport de force comme un autre dans toutes les sociétés.”

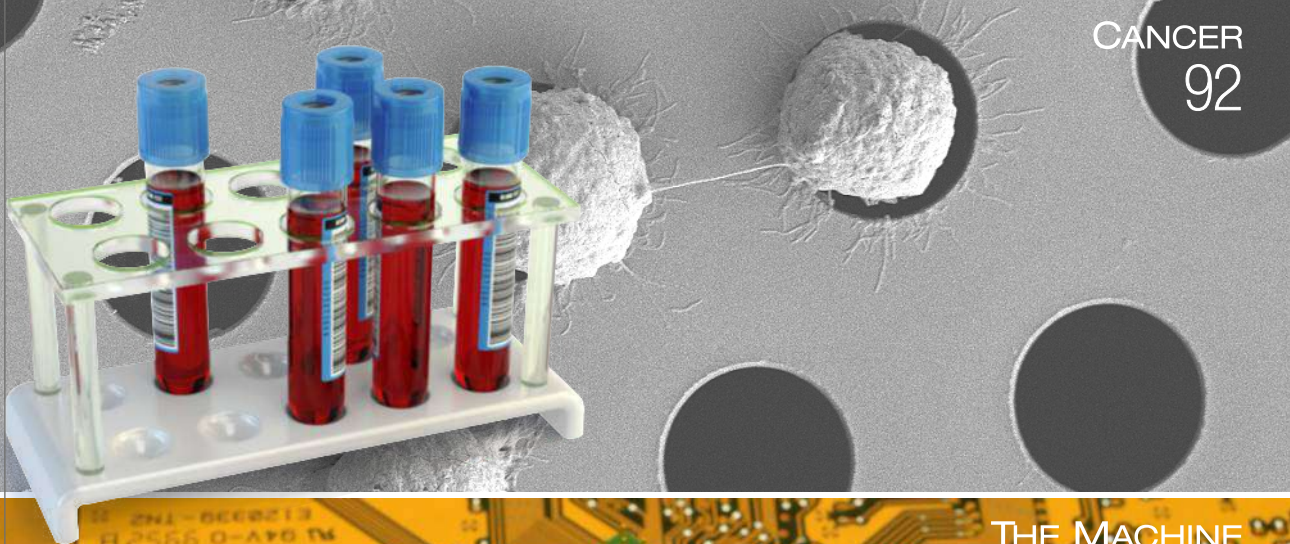
De quoi valider l'idée de Hobbes, grand rival de Rousseau, pour qui la violence, inscrite en l'Homme depuis très longtemps, n'a eu besoin d'aucun événement déclencheur pour se développer? Certes, en théorie, la “nature de l'homme” – c'est-à-dire hors de toute culture – apparaît insaisissable, et les philosophes n'en parlent que comme une fiction théorique, un objet d'étude imparfait qui

s'est passé quelque chose de troublant à Nataruk”, admet Marylène Patou-Mathis, du Muséum national d'histoire naturelle de Paris.

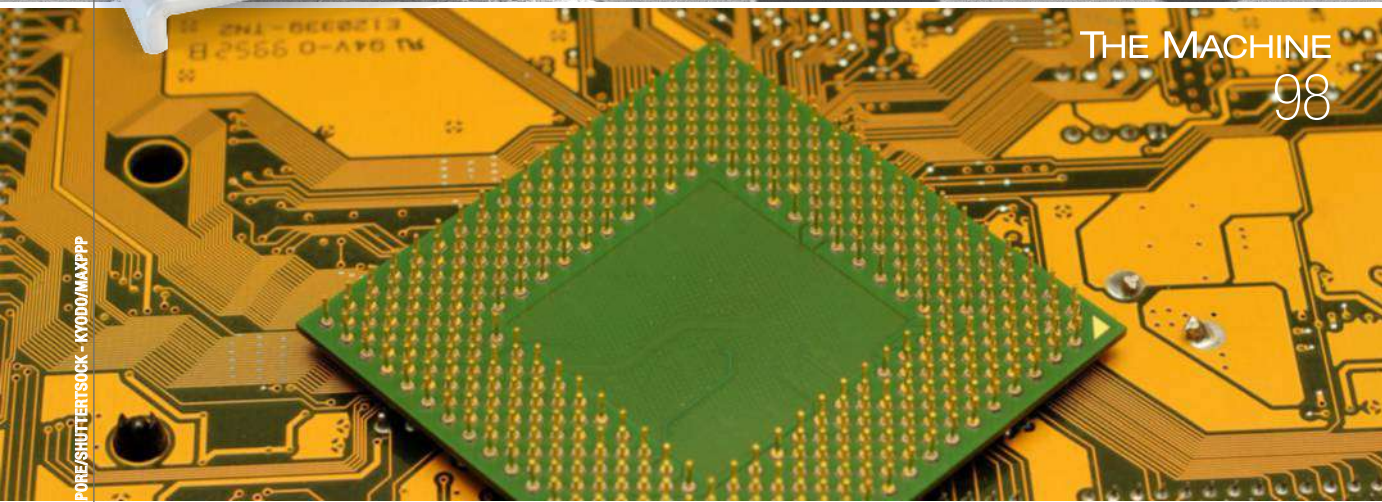
Alors? Que s'est-il vraiment passé à Nataruk? Qu'est-ce qui a pu motiver une telle violence collective chez ces chasseurs-cueilleurs?

Le fait que les femmes, généralement non guerrières à cette époque, soient présentes en aussi grand nombre que les hommes parmi les victimes, ferait plutôt pencher la balance du côté d'un raid mené par un groupe sur une population

# & Science techniques



CANCER  
92



THE MACHINE  
98



CULTURES SOUS LED  
102

A. TAN/INSTITUTE OF BIOTECHNOLOGY AND NANOTECHNOLOGY, SINGAPORE/SHUTTERSTOCK - KYODO/MAXPPP

# Cancer

## Les tests sanguins vont tout changer



Grâce à une simple prise de sang, voici qu'on pourrait dépister un cancer avant qu'il se déclare et suivre son évolution après traitement. Un progrès fantastique, nous annonce **Kheira Bettayeb**.

**C**e sont de simples prises de sang. Et pourtant, elles pourraient faire progresser la lutte contre le cancer comme aucune autre technique auparavant.

Depuis une dizaine d'années déjà, des centaines d'équipes dans le monde – travaillant au sein d'universités, de grandes sociétés de biotechnologies (Roche, Illumina...) ou de start-up – tentent de mettre au point des tests sanguins capables de dépister précocement

une tumeur, quels que soient sa taille et l'endroit où elle se cache dans le corps. Capables, aussi, d'étudier ses anomalies génétiques pour proposer une thérapie personnalisée, de suivre l'évolution de la maladie face aux traitements et de prévenir les risques de rechute. Autrement dit, des tests utilisables avant, pendant et après l'annonce d'un cancer.

Ce rêve de santé publique pourrait devenir réalité grâce aux récents progrès technologiques en génétique et en biologie moléculaire. De tout premiers tests commencent même à être proposés aux patients.

Concrètement, alors que la biopsie classique consiste à prélever *in situ* un échantillon de tissu tumoral pour l'analyser, ce nouveau test peut être vu comme une "biopsie liquide", visant à rechercher dans le sang des entités libérées par la

tumeur, afin de la caractériser d'un point de vue génétique et moléculaire.

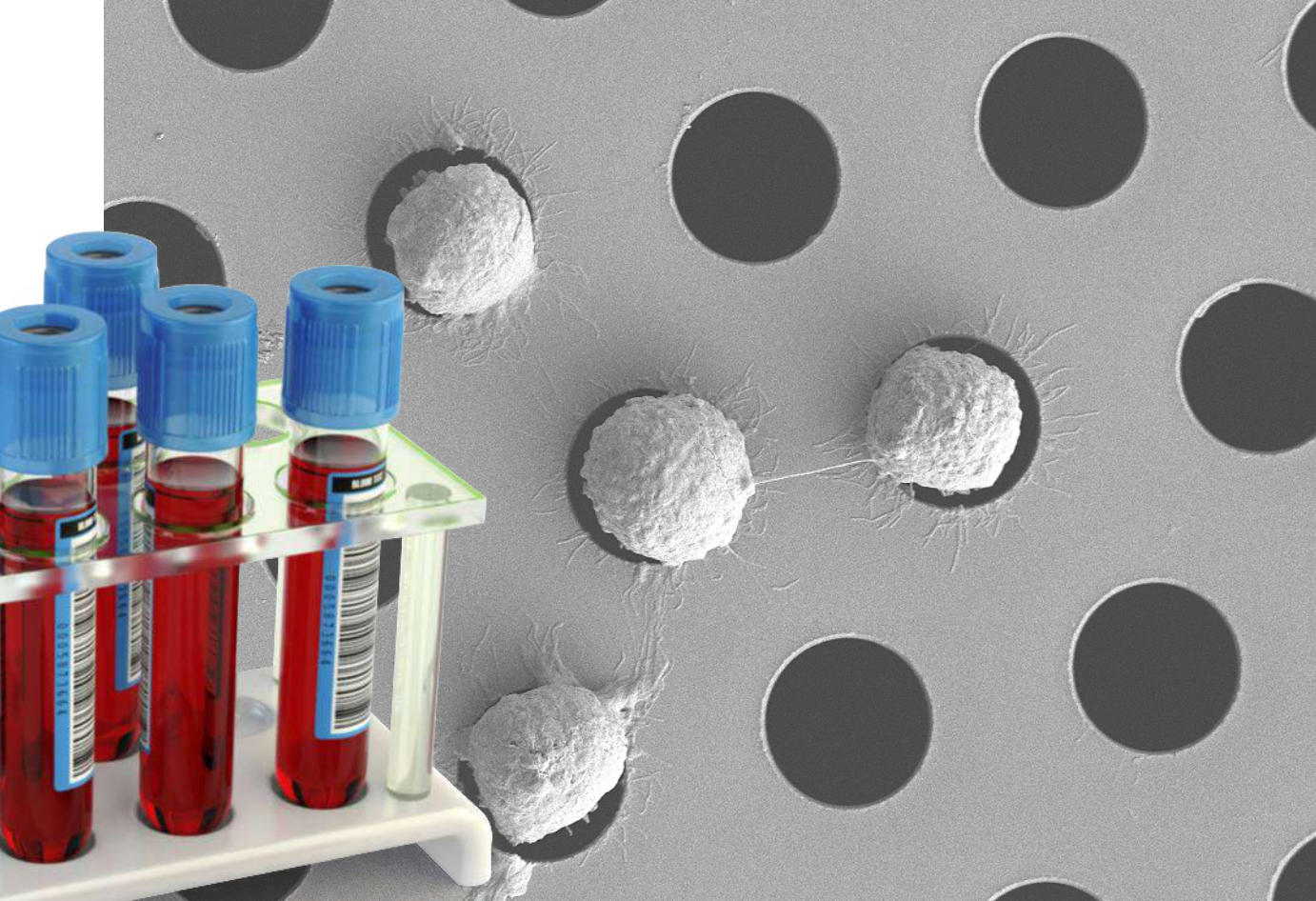
A ce jour, les avancées les plus marquantes portent sur les cellules tumorales circulantes (CTC): des cellules qui se décrochent de la tumeur à peine formée, puis voyagent dans le corps à travers le système sanguin, avant de s'implanter dans différents organes pour y créer des métastases.

### DE PRÉCIEUX INDICATEURS

Observées au microscope, ces entités très rares (quelques-unes seulement dans 10 ml de sang) se présentent sous la forme de cellules libres ou d'amas. Compa-rées à des cellules normales, elles ont un

### Chronologie

**1869**: découverte des cellules tumorales circulantes (CTC). **Années 1980**: lien établi entre la présence de CTC dans le sang et le risque de tumeur. **1995**: l'équipe de Patrizia Paterlini-Bréchet se lance dans le développement d'une technique de détection des CTC, Iset. **2016**: mise au point, par une équipe américaine, d'une technique basée sur la détection de l'ADN tumoral circulant; commercialisation à petite échelle du test Iset.



SHUTTERSTOCK - A TAN/INSTITUTE OF BIENGINEERING AND NANOTECHNOLOGY, SINGAPORE

large noyau et une forme irrégulière. Elles prennent différentes tailles d'un cancer à l'autre, y compris pour un même type de tumeur. Par exemple, dans le cas du cancer du sein, certaines ont un diamètre de 16 µm quand d'autres atteignent les 30 µm ! Certaines ont plutôt un profil de cellules épithéliales (des cellules qu'on retrouve dans la couche su-

perficielle de la peau et les muqueuses), tandis que d'autres ressemblent plus à des cellules mésenchymateuses (mobiles).

Alors que ces CTC sont connues depuis près d'un siècle et demi (voir chronologie), l'idée que leur présence dans le sang indique un risque important de développer une tumeur n'a émergé qu'au milieu des années 1980 ! Un retard qui s'explique ainsi : aussi étonnant que cela puisse paraître, la présence de ces cellules dans le sang peut être sans conséquence. Un cancer peut en effet se résorber "de lui-même", sans traitement, simplement grâce à l'action de nos défenses immunitaires. De plus, les CTC meurent parfois

avant d'avoir pu développer des métastases. Cependant, il est désormais largement admis que leur présence dans le sang signe un risque fort de développer un cancer – sans que ce risque puisse, pour l'instant, être précisément chiffré. "Ces CTC peuvent se trouver dans le sang des années avant l'apparition de métastases", précise Patrizia Paterlini-Bréchet, oncologue à l'université Paris-Descartes et à l'Inserm.

Et pour qu'un jour ces cellules deviennent de véritables "boules de cristal" révélant le devenir de la maladie, il faut déjà savoir les "attraper" dans le sang... Un exploit que la chercheuse et son équipe ont accompli en développant une technique devenue une référence dans le domaine. Son nom ? "Iset" (pour "Isolation by

▲ **UNE ANALYSE PRÉCISE ET NON-INVASIVE**

L'échantillon de sang prélevé passe au travers d'un filtre qui retient les cellules tumorales, plus grosses que les cellules sanguines : leur profil génétique sera étudié pour ajuster le traitement, et l'examen pourra être répété autant de fois que nécessaire.



## LES 3 PROMESSES DE LA BIOPSIE LIQUIDE

Les tests de détection des CTC pourraient améliorer le pronostic vital d'un cancer en agissant à trois étapes clés (ci-contre, l'exemple du cancer du poumon, pour lequel la technique est la plus avancée).

→ size of epithelial tumor cells": isolement par taille des cellules tumorales épithéliales). Autorisée depuis peu en France et en Italie pour l'aide à la personnalisation du traitement des patients atteints d'un cancer, elle n'est cependant pas remboursée pour l'instant, faute de validation clinique définitive.

Protégé par cinq brevets, cet outil consiste à isoler les CTC présentes dans tous les cancers "solides" (hors leucémies et lymphomes, donc) grâce à leur taille. Un filtre retient les cellules dérivant des organes, parmi lesquelles les CTC, en misant sur le fait que celles-ci sont plus grosses que les cellules sanguines (diamètre égal ou supérieur à 16 µm, contre 7-8 µm pour les cellules du sang). Un tour de force à cette échelle! Un spécialiste distingue ensuite les cellules tumorales des non-tumorales par analyse au microscope. "Iset permet de

### AVANT UN CANCER

#### Dépister précocement

Un test sanguin capable de détecter une tumeur du poumon avant qu'elle ne devienne invasive permettrait de traiter le patient plus tôt, augmentant ainsi ses chances de survie.

**Stade:** en essai clinique pour le cancer du poumon.

### PENDANT UN CANCER

#### Personnaliser les soins

En cas de cancer du poumon déclaré, le test aide à étudier ses mutations génétiques (afin de prescrire des molécules ciblant ces mutations) et à évaluer l'efficacité du traitement.

**Stade:** déjà proposé pour certains cancers du poumon, à l'essai pour les autres.

### APRÈS UN CANCER

#### Prévenir les rechutes

Une fois le cancer guéri, le test pourrait détecter un risque de rechute, en repérant par exemple une réaugmentation du taux de CTC. Le traitement serait ainsi repris au plus tôt.

**Stade:** à l'essai pour différents cancers.

déceler une cellule tumorale parmi 50 milliards de cellules sanguines!", s'enthousiasme Patrizia Paterlini-Bréchet.

#### DIAGNOSTIQUER JUSQU'À 4 ANS PLUS TÔT!

Cette prouesse a nécessité pas moins de vingt ans de recherche. Et pour cause: "Nous avons dû identifier une multitude de paramètres qui, réunis,

permettent d'isoler de façon optimale les rarissimes CTC mélangées aux milliards de cellules sanguines présentes dans 10 ml de sang, explique la chercheuse. Parmi ces paramètres: le matériau et l'épaisseur du filtre, la densité et la trajectoire de ses pores, la composition de la solution qui doit être mélangée au sang pour assurer une extraction optimale des CTC, la modalité d'aspiration du sang... Il a ensuite fallu que la performance d'Iset soit validée par plusieurs équipes dans le monde via des études indépendantes - 45 ont été publiées."

Grâce à cette technique, lors d'une étude publiée en 2014 et réalisée sur 168 gros fumeurs présentant une broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) et un risque élevé de cancer du poumon, ainsi



PATRIZIA PATERLINI-BRÉCHOT

Chercheuse à l'origine de la technique de détection des CTC Iset (université Paris-Descartes/Inserm)

Notre technique permet de déceler une cellule tumorale parmi 50 milliards de cellules sanguines

DUCANE MEDICAL IMAGING/SPL/COSMOS - DR



△ Le cancer du poumon est le plus meurtrier chez l'homme (sur ce CT-scan, la tumeur apparaît sur le poumon droit, en rouge).

## Faits & chiffres

En 2015, le cancer a touché **385 000** nouvelles personnes en France et en a tué **149 500**. Traiter tôt est crucial : pour le cancer du poumon (le plus meurtrier chez l'homme), les chances de survie sont de **10%** à deux ans en cas de diagnostic tardif ; elles montent à **50%** à cinq ans quand le traitement est précoce.

que 42 fumeurs modérés et 35 non-fumeurs, l'équipe du pathologiste Paul Hofman (université Nice-Sophia-Antipolis/CHU de Nice) a pu déceler des cellules tumorales dans le sang de cinq patients... jusqu'à quatre ans avant que leur cancer ne soit visible à la radiologie classique!

Pour confirmer ces premiers résultats sur le diagnostic d'une tumeur primaire, les chercheurs niçois ont lancé en novembre 2015 une nouvelle étude clinique, portant cette fois sur 600 patients suivis dans 18 hôpitaux français (projet "AIR"). "Les premiers résultats sont attendus pour 2019", indique Paul Hofman.

Détecter, grâce à un simple test sanguin, une tumeur à ce stade, avant qu'elle ne soit devenue métastatique, voilà

qui change tout. Car traiter les patients très en amont augmente considérablement leurs chances de guérison. A ce jour, 75% des cas de cancer du poumon sont diagnostiqués à un stade trop tardif, non-opérables et impossibles à guérir.

"Un test sanguin de diagnostic précoce des cancers pourrait sauver, rien que pour le cancer du poumon, plus de 10 000 Français chaque année", estime Paul Hofman.

### DES THÉRAPIES CIBLÉES

Et ce n'est pas tout. Car ce type de test offre aussi la possibilité de personnaliser les traitements. Un atout crucial : comme chaque cancer est caractérisé par des mutations spécifiques, utiliser des thérapies ciblées, visant précisément ces mutations, assurerait une prise en charge plus intelligente. D'autant que, contrairement à une biopsie tissulaire classique, la prise de sang est non-invasive, et donc réalisable autant de fois que nécessaire.

"C'est sous l'impulsion des thérapies ciblées que la recherche en biopsie liquide explose, souligne Paul Hofman. Dans ce domaine, le fait qu'une prise de sang puisse se répéter dans le temps est un énorme avantage." D'ailleurs, "il est déjà possible, depuis 2014, de recourir à un test sanguin pour déterminer si un patient souffrant d'un cancer du poumon particulier porte une mutation précise", explique l'oncologue Jean-Yves Pierga (Institut Curie/université Paris-Descartes).

Et il n'y a pas que le test Iset. Pas moins d'une quarantaine d'autres techniques plus ou moins prometteuses sont en cours de développement dans

le monde. "Certaines, telles que la technologie française ScreenCell ou l'américaine Creatv MicroTech, utilisent aussi des filtres. D'autres, comme l'outil américain CellSearch, consistent à capturer les cellules tumorales grâce à des molécules d'anticorps qui s'accrochent à leurs protéines 'antigènes' [reconnues par des anticorps spécifiques]", détaille Paul Hofman.

Ces méthodes ne détectent pas exactement le même type de CTC, tant ces cellules sont variées. Elles ne sont donc pas toutes efficaces sur les mêmes cancers. Un atout sur la durée : "Si elles venaient toutes à mûrir, ces différentes techniques pourraient être complémentaires", souligne Jean-Yves Pierga, qui teste, à l'Institut Curie, la technique américaine CellSearch dans le cas du cancer du sein. →



STÉPHANE VIGNOT

Oncologue aux Hôpitaux de Chartres, porte-parole de la Société française du cancer

*Il faudra prouver que cet outil améliore effectivement la survie des patients*

→ Et il pourrait y avoir encore mieux que la recherche de CTC! C'est du moins l'avis de Maximilian Diehn, professeur d'oncologie à Stanford (Etats-Unis). Comme plusieurs autres équipes (dont une appartenant à la société américaine Illumina, qui a lancé en janvier un grand projet dans ce domaine), la sienne se concentre sur la détection d'ADN tumoral circulant (ADNtc), un ensemble

tases d'un même cancer ont chacune un profil génétique propre, isoler l'ADNtc plutôt que les CTC permettrait d'avoir rapidement accès à l'ensemble de l'ADN des différentes métastases.

### TROIS RÉVOLUTIONS EN UNE

On le voit, une révolution est en marche. Et plutôt trois fois qu'une puisqu'elle table sur la détection de CTC, d'ADNtc et même de micro-ARN tumoral

*plus performant ni un impact positif sur le pronostic*", tempère Stéphane Vignot, oncologue aux Hôpitaux de Chartres et porte-parole de la Société française du cancer. Concernant en particulier l'application "diagnostic précoce", "le fait qu'une personne présente des CTC dans le sang ne signifie pas qu'elle développera à coup sûr une tumeur ou des métastases, mais que le risque est grand", souligne le médecin.

Enfin, les tests sanguins peuvent donner des faux positifs: ainsi, CellSearch peut déceler des cellules circulantes non-tumorales (car certaines cellules épithéliales circulantes sont normales). Quant à sa concurrente Iset, comme l'identification des CTC se fait au microscope par un médecin cytologiste, tout dépend de la qualité de l'analyse...

En conclusion, détecter tôt n'est pas forcément gage d'une meilleure survie. Il faudra le démontrer avec des études menées à long terme sur des milliers de patients. Le chemin est donc encore long... Il n'empêche! Cela faisait longtemps que la science n'avait offert l'espoir d'une avancée aussi décisive dans la lutte contre le cancer.



A consulter : des sites sur les CTC et les différents tests de détection au point.

A voir : une vidéo présentant un essai clinique sur les CTC à l'Institut Curie. \*

A lire : l'étude de M. Diehn et son équipe sur leur outil de détection de l'ADNtc.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com

## Cancer du poumon : traquer les mutations dans le sang

**"La biopsie liquide a déjà commencé à changer nos pratiques!", s'enthousiasme l'oncologue Stéphane Vignot (Hôpitaux de Chartres). En effet, depuis 2014, le recours à l'analyse de l'ADN tumoral dans le sang (crucial quand effectuer une biopsie de la tumeur est impossible) est autorisé pour repérer certaines mutations particulières, ciblées par le médicament Iressa®. Uniquement destinés aux patients souffrant de certaines formes avancées de cancer du poumon, les outils utilisés ici sont des tests de "séquençage ciblé", où l'ADN extrait du sang est fragmenté par des molécules, puis mélangé à des "sondes" moléculaires qui s'accrochent aux régions génétiques portant la mutation recherchée – ce qui permet de voir si cette mutation est présente chez le patient testé. Une méthode lourde, d'où les recherches pour développer des tests sanguins plus simples et rapides.**

de fragments d'ADN qui se retrouvent dans le sang après la mort naturelle – ou provoquée par un traitement médical – de cellules cancéreuses.

Plus balbutiante, cette piste étudiée seulement depuis quelques années "offre beaucoup de possibilités dans le domaine de l'aide à la médecine personnalisée et au suivi", estime Maximilian Diehn. Ce biomarqueur qu'est l'ADNtc donne notamment une vue globale de la maladie: comme les métas-

circulant, un troisième biomarqueur étudié depuis peu.

Reste un bémol. Mettre au point un test fiable, à l'efficacité démontrée sur une grande cohorte de patients, ne suffira pas pour que cette approche soit massivement proposée dans la population... "Il faudra aussi montrer que ce type d'outil permet effectivement d'améliorer la survie des patients. Car dépister une tumeur à l'aide d'un test sanguin ne garantit en rien un diagnostic



# Découvrez la nouvelle Croisière **SCIENCE&VIE**

SCIENCE&VIE  
**JUNIOR**



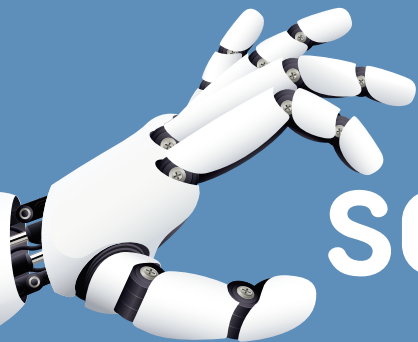
Jérôme Bonaldi,  
Journaliste  
et animateur TV



Jean-Pierre Bibring,  
Astrophysicien



Pascal Picq,  
Paléoanthropologue



## • OBJECTIF **sciences** pour tous



ATELIERS LUDIQUES

RENCONTRES

CONFÉRENCES

VACANCES DE TOUSSAINT - DU 21 AU 28 OCTOBRE 2016

## ADRIATIQUE ITALIE • CROATIE • MONTÉNÉGR0 • GRÈCE & ILES GRECQUES



AU DÉPART DE VENISE, **ALLER À VENISE C'EST FACILE**,  
NOS CONSEILLERS SONT À VOTRE DISPOSITION !

à partir de  
8 JOURS/7 NUITS

**959 €**

PENSION COMPLÈTE  
ET UNE SÉLECTION DE BOISSONS

Forfait de séjour à bord inclus  
Prix TTC/pers. en cabine double cat. IC

**OFFRE SPÉCIALE  
TOUSSAINT**

Gratuité Croisière enfants  
pour les - de 18 ans



A BORD DU COSTA  
MEDITERRANEA



Appelez-nous ! C'est rapide, facile  
et cela n'engage à rien !

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS

**01 41 33 57 01**

Du Lundi au samedi de 9h00 à 19h00

TÉLÉCHARGEZ LA BROCHURE COMPLÈTE SUR

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

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

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE CROISIÈRES OBJECTIF SCIENCES - CS 90125 - 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. © iStock : © Freepik. Cette croisière est organisée en partenariat avec Costa Croisières. Science&Vie est une publication du groupe Mondadori France, siège social : 8 rue François Dry - 92543 Montrouge Cedex.

**SCIENCE&VIE**

CROISIERE

**Costa**

# The Machine

## L'ordinateur du nouveau monde ?

Un PC dont le cœur n'est pas le processeur mais la mémoire ? Voici la solution imaginée par HP pour répondre à l'exigence des big data. **Olivier Lapirot** nous décrit la bête.

**S**on nom est à la fois générique et grandiloquent : "The Machine".

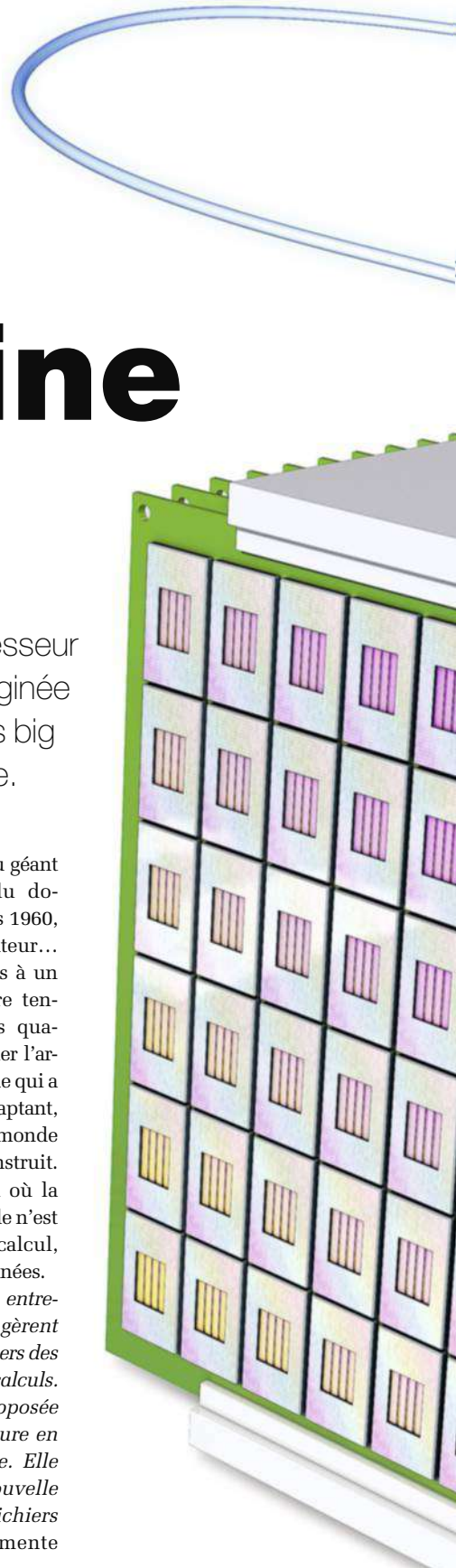
Les équipes de recherche de Hewlett-Packard Entreprise (HPE), qui planchent dessus depuis 2008, annoncent un premier prototype pour la seconde partie de l'année. Un prototype hors norme : avec ses 320 téraoctets, il disposera d'une mémoire vingt fois plus importante que les plus gros serveurs actuels, constitués de milliers d'ordinateurs.

Surtout, la machine du géant américain, pionnier du domaine depuis les années 1960, sera le premier ordinateur... qui ne ressemblera plus à un ordinateur. La première tentative sérieuse, depuis quarante ans, de faire évoluer l'architecture d'une machine qui a changé le monde en l'adaptant, justement, au nouveau monde qu'elle a elle-même construit. Un monde de big data où la problématique essentielle n'est plus la puissance de calcul, mais la maîtrise des données.

*"Avec les big data, les entreprises comme Google gèrent déjà dans leurs data centers des données plutôt que des calculs. Mais la technologie proposée par HPE offre une rupture en termes de performance. Elle apporte aussi une nouvelle façon d'aborder les fichiers informatiques",* commente

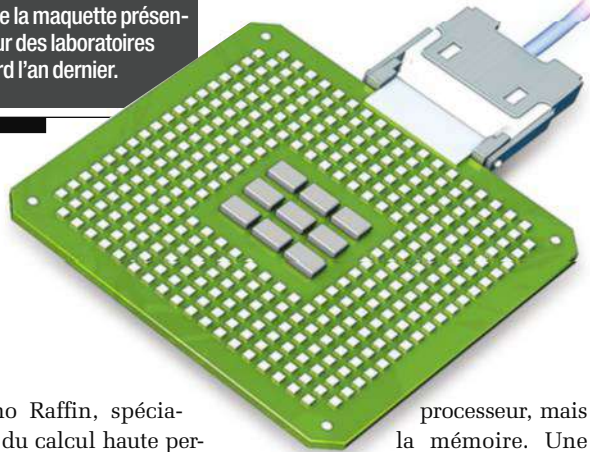
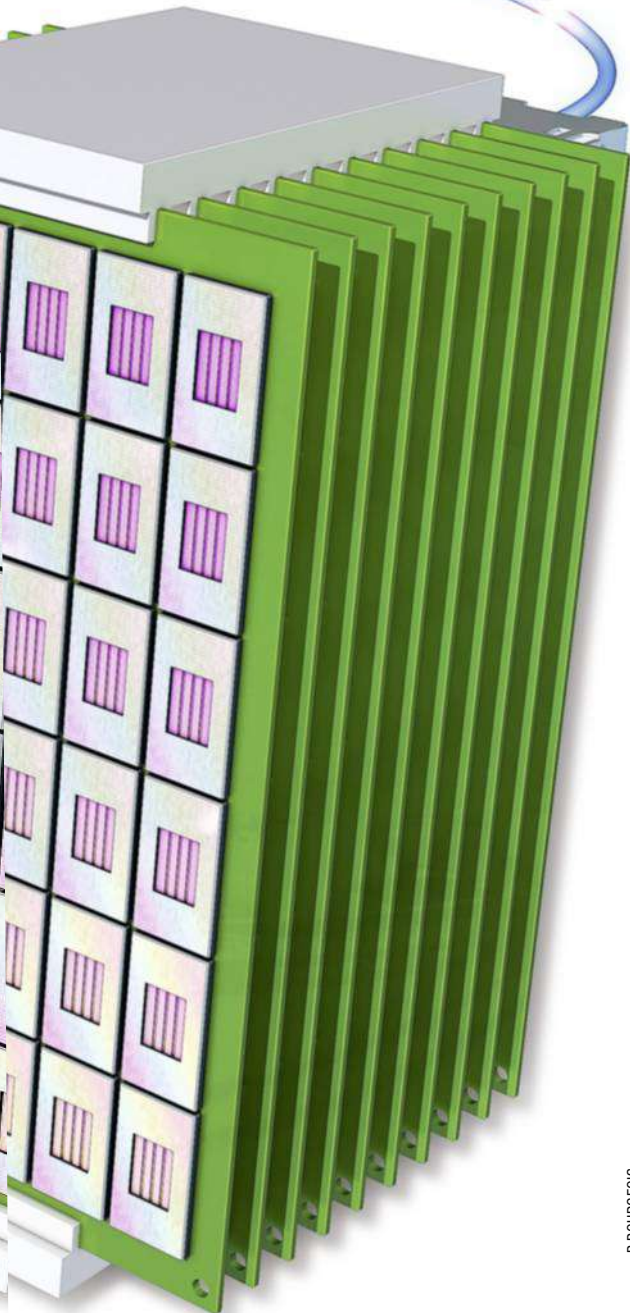
### Contexte

Chaque jour, 2,5 millions de téraoctets de nouvelles données sont générés par 6,4 milliards d'objets connectés. Lesquels seront trois fois plus nombreux en 2020 ! La consommation énergétique des data centers, chargés de stocker et d'analyser ces données, s'envole (un seul consomme autant que 75 000 personnes). Et s'il fallait repenser nos ordinateurs ?



## UN DESIGN CONNU SEULEMENT DANS SES GRANDES LIGNES

Une mémoire centrale reliée par fibre optique à un processeur périphérique: hormis cette architecture globale, impossible de savoir à quoi ressemblera exactement ce nouvel ordinateur. Ce dessin s'inspire de la maquette présentée par le directeur des laboratoires d'Hewlett-Packard l'an dernier.



Bruno Raffin, spécialiste du calcul haute performance à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria).

Jusqu'à présent, la pièce centrale de l'ordinateur a toujours été le processeur, le cerveau qui exécute les calculs. C'est le cœur de la machine autour duquel gravitent les autres composants. En particulier, ceux dédiés à la mémoire, avec d'un côté la mémoire de stockage (disques durs magnétiques ou mémoire flash électronique), qui conserve de manière permanente les fichiers, et de l'autre la mémoire de travail, ou mémoire vive, beaucoup plus rapide mais éphémère, dans laquelle sont chargées toutes les informations nécessaires au processeur pour accomplir son travail. S'y ajoutent la carte mère, grâce à laquelle les composants collaborent et communiquent, et la carte réseau, pour gérer les transferts d'informations entre ordinateurs. Le tout étant relié par des câbles en cuivre.

The Machine renverse complètement cette logique, en plaçant les données au centre et les calculs en périphérie. Ici, le cœur du système n'est plus le

processeur, mais la mémoire. Une mémoire universelle, qui allie permanence des informations de la mémoire de stockage et la rapidité d'accès de la mémoire de travail. Un immense espace de stockage dans lequel des processeurs périphériques reliés par des fibres optiques à lasers viennent chercher leurs données.

### LE DÉFI DE LA SOBRIÉTÉ

Selon HPE, cette architecture bouleversée devrait rendre l'informatique plus efficace, plus simple à programmer, plus facile à utiliser et plus sobre en énergie: The Machine doit être le premier ordinateur du nouveau monde.

Plus sobre? L'enjeu est de taille. Pour stocker et digérer toutes les données envoyées par les objets connectés, dont le nombre ne cesse d'augmenter (lire l'encadré Contexte), les data centers, qui regroupent des milliers d'ordinateurs, devront devenir encore plus grands, encore plus puissants, et donc encore plus énergivores. *"Tous les trois ans, quand la capacité de calcul des processeurs est multipliée par 10, la*

→ consommation électrique est, elle, multipliée par 3, précise Patrick Demichel, chef technologue chez Hewlett-Packard Entreprise et représentant du projet The Machine. *Ça paraît peu mais c'est déjà énorme : un data center consommant 10 mégawatts passerait à 30 mégawatts, ce qui est impossible en ville en raison de la capacité des lignes électriques.*"

En 2014, lors du lancement officiel du projet, Martin Fink, directeur des laboratoires d'HPE, tablait sur un quintuplement des performances de calcul des data centers avec une consommation d'énergie divisée par 5 !

### ULTRAFACILE À GÉRER

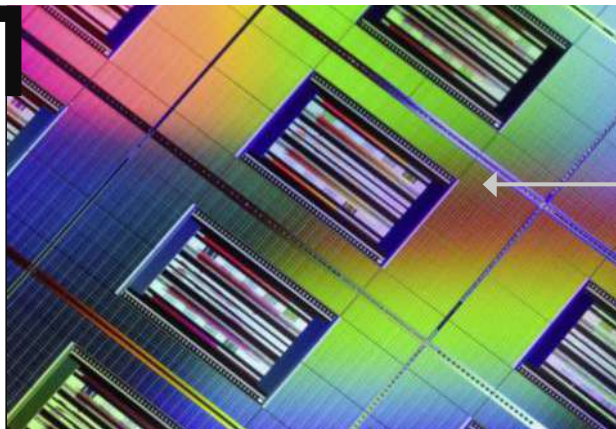
Son calcul se fonde sur plusieurs éléments. Sur les futures performances de son nouveau type de mémoire universelle d'abord, qui évite les incessants allers-retours d'informations entre mémoire de travail et mémoire de stockage : elle est censée être 10 fois plus sobre que la mémoire vive dynamique (Dram), avec un objectif d'un picojoule pour l'écriture ou la lecture d'un bit. Sur l'efficacité des liaisons photoniques ensuite, qui se substitueront aux connexions en cuivre, lentes et à très forte dissipation thermique. Enfin, sur l'emploi de processeurs fabriqués et programmés en fonction de leur rôle, de façon à être les plus économes possible, à la place d'un processeur générique "dont l'architecture n'a jamais été optimisée pour une tâche spécifique", souligne Patrick Demichel.

Autre avantage clé avancé : la simplicité de programmation et d'utilisation. Plutôt que de répartir les vastes collections de données dans des milliers d'ordinateurs en réseau, avec

## The Machine : les trois secrets d'une architecture complètement inédite

### MÉMOIRE : UNIVERSELLE, ELLE SERA DÉSORMAIS LE CŒUR DU SYSTÈME

C'est elle qui est désormais au centre du système, renversant complètement la logique actuelle. Fini la mémoire dure et la mémoire vive : un nouveau type de mémoire universelle les remplacera, qui cumulera leurs qualités en garantissant à la fois rapidité d'accès et permanence des informations.



### ÉCHANGES DE DONNÉES : ILS IRONT À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

A l'intérieur de l'ordinateur, les liaisons photoniques (photo) remplaceront câbles en cuivre et connexions actuelles. Elles transporteront les informations à la vitesse de la lumière grâce à des microlasers et des fibres optiques miniatures. De quoi promettre des gains considérables en termes de rapidité de transfert de données et d'économies d'énergie.



chacun sa mémoire de stockage et sa mémoire vive, The Machine regroupe tout dans un seul bloc mémoire central, de taille modulable. Et avec les liaisons photoniques, le temps d'accès est non seulement fortement réduit, mais il devient plus uniforme. "Alors que des algorithmes complexes doivent aujourd'hui prendre en compte les temps d'accès différents, selon que la mémoire est locale ou sur une autre machine, l'uniformisation du temps d'accès permettra de repenser la manière de stocker les données et de simplifier les algorithmes", confirme Bruno Raffin.

Patrick Demichel le promet : "Même 1000 fois plus grosse, cette machine sera aussi facile

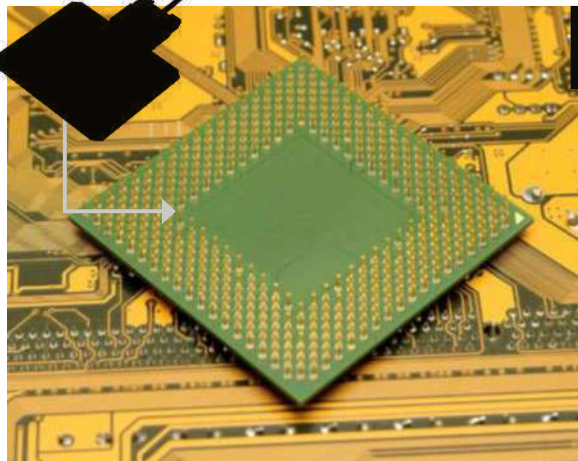
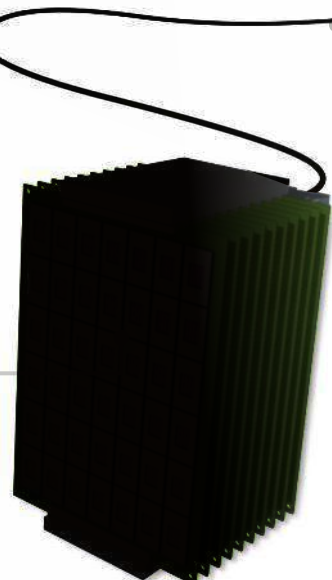
à gérer par les programmeurs que par les utilisateurs."

Ce gain en efficacité a été chiffré. Aujourd'hui, trouver les cinq images les plus ressemblantes à une autre parmi une collection de 4 millions répartie sur une vingtaine de serveurs prend trois minutes. Avec The Machine, c'est une bibliothèque de 80 millions d'images qui serait vue comme une mémoire unique... en moins de 50 millisecondes.

Voitures, drones... HPE voit même sa Machine intégrer, à terme, les objets connectés qui, au lieu d'être de simples collecteurs de données, les mémoriseront, les analyseront, n'envoyant plus vers les data centers que les plus pertinentes. "Ce

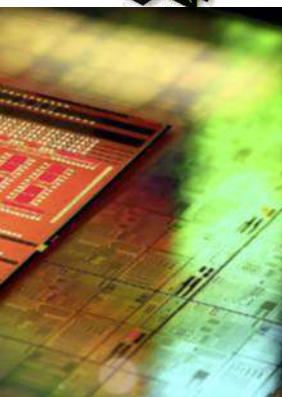
### En chiffres

Avec **320 téraoctets de mémoire**, le premier prototype de The Machine est capable de stocker l'information inscrite sur 500 000 CD-Rom (soit une tour de 7,5 km), ou 100 milliards de pages (soit 10 000 km de hauteur) !



## PROCESSEUR : IL SERA EXCENTRÉ ET POURRA ÊTRE SPÉCIALISÉ

Le processeur générique que l'on connaît aujourd'hui n'est plus le centre de la machine. Devenu périphérique, il pourra aussi être fabriqué et programmé pour remplir une fonction précise (traiter de la vidéo en temps réel, par exemple). Sa consommation énergétique est ainsi réduite au strict minimum.



*nouveau type de mémoire a deux avantages pour les petits appareils, confirme Kevin Marquet, spécialiste des systèmes embarqués au laboratoire Citi (Inria/Insa Lyon). Elle est très dense, ce qui permet d'ajouter beaucoup de mémoire pour un volume réduit. Et elle peut être éteinte facilement sans rien perdre, ou allumée quand on en a besoin, garantissant de grosses économies d'énergie.*

## Une révolution qui pourrait intégrer demain l'ordinateur de bureau ?

Bref, HPE rêve d'imposer sa Machine dans tous les futurs systèmes informatiques centrés sur le traitement massif de données. Et pourquoi pas, ensuite, dans les ordinateurs de bureau ?

Pour l'heure, les ingénieurs sont face à des problèmes très concrets. Comme la fabrication de la mémoire universelle. Pour y parvenir, ils misaient initialement sur une technologie développée en interne, les memristors, une mémoire reposant sur du dioxyde de titane, dont la résistance varie en fonction du

courant qui le parcourt. N'ayant pas réussi à élaborer une méthode de fabrication industrielle, ils envisagent d'autres types de mémoire universelle, comme une mémoire à changement de phase (les structures du matériau deviennent amorphes ou cristallines en fonction du courant qui le parcourt).

Les liaisons laser par fibre optique, elles, existent déjà : elles sont utilisées entre les serveurs des data centers. Le défi ? Miniaturiser ces éléments pour implanter fibres et lasers sur le serveur, puis, dans un second temps, à l'intérieur du processeur lui-même. Intel et IBM y travaillent : après un peu de retard, les premiers composants photoniques pourraient être commercialisés dans un an.

Quant aux processeurs spécialisés, ils sont déjà sur le marché.

Patrick Demichel est optimiste : *"Le hardware n'est pas le plus compliqué, on y arrivera, ce n'est qu'une question de temps."* C'est le software qui est en fait la partie la plus critique.

Le prototype en construction, à l'usage exclusif des équipes de recherche d'HPE, doit servir à mettre au point la partie logicielle, qui assure la gestion

des flux d'informations sur les liaisons photoniques – à défaut de mémoire universelle disponible, c'est une mémoire vive classique qui est utilisée. Il faut aussi concevoir un système d'exploitation capable de tirer le meilleur parti de tous ces changements. HPE y travaille.

The Machine permettra-t-elle à Hewlett-Packard Entreprise de revenir dans la course pour la maîtrise des futurs systèmes informatiques ? L'avenir le dira. Sachant qu'il est difficile de reconstruire un système aussi complexe qu'un ordinateur à partir de zéro, vu les gigantesques forces d'inertie des savoir-faire et des outils accumulés durant des décennies.

Mais ce bouleversement radical dessine déjà les contours de notre nouveau monde. Un monde dont les données informatiques commencent désormais à occuper le centre.



A consulter : le site du laboratoire de recherche consacré à The Machine. **EN SAVOIR PLUS**

[science-et-vie.com](http://science-et-vie.com)

## Ferme urbaine

# Les LED révolutionnent les fruits et les légumes

Imaginez des salades, des fraises ou des concombres ayant poussé sans terre ni soleil, dans des bacs alignés dans un entrepôt...

Voilà qui n'incite pas à la dégustation. Qui n'a jamais grimacé en mangeant une tomate pâlichonne et sans saveur, tout droit sortie de sa serre? Force est de constater que la culture hors-sol développée depuis une vingtaine d'années, sous la lumière des néons ou de lampes à vapeur de sodium, ne comble pas les attentes des consommateurs.

Eh bien, cette réticence pourrait tomber. Par la grâce de nouvelles fermes urbaines. D'ores et déjà en train de fleurir partout dans le monde, elles cultivent des fruits et des légumes aux propriétés inédites en termes de rapidité de croissance, de densité et de qualités nutritives... susceptibles même de redonner couleur, texture et saveur aux végétaux, et cela sans voir la lumière du jour!

Mieux que le soleil : en calibrant la lumière émise par des LED, les fruits et légumes poussent dans des entrepôts à vitesse grand V. Et leurs qualités sont dopées!

**Alexandra Pihen** a fait son marché.

Ce qui a changé? L'arrivée des diodes électroluminescentes, les fameuses LED.

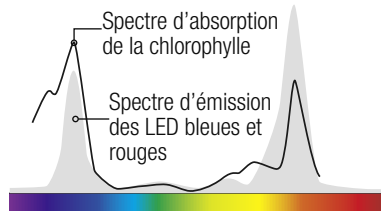
Les premiers expérimentateurs furent sans aucun doute les amateurs de cannabis, ravis de trouver une source plus discrète – car bien plus froide et silencieuse que les lampes à vapeur de sodium – pour leurs cultures clandestines...

Mais le mouvement quitte aujourd'hui les placards pour l'industrie.

Et la France s'y met: en ce mois de juillet, la société Ferme urbaine lyonnaise (FUL) inaugure, sur le campus de la Doua à Villeurbanne, un site pilote de 50 m<sup>2</sup> sur 4 m de hauteur, modèle miniature d'un site pré-industriel prévu pour 2017.

### Repères

Les végétaux n'utilisent que 1 à 2 % de l'énergie lumineuse du soleil pour se développer. Et plus précisément certaines longueurs d'onde du spectre lumineux, notamment le bleu et le rouge... que peut dispenser la lumière monochromatique des LED.





^ 10 000 LÉGUMES  
PAR JOUR  
C'est l'objectif que s'est  
fixé la ferme industrielle  
de Tagajo, au Japon, la  
plus grande du monde uti-  
lisant la culture aux LED.

KYODO/MAXPPP

Le projet du leader de la culture en environnement climatique sous LED, la société américaine Aerofarms, est plus avancé. *“Notre future ferme verticale de douze niveaux de cultures, installée à Newark, près de Manhattan, vise une production de 900 000 kg de végétaux par an sur 6 500 m<sup>2</sup>”,* se réjouit Marc Oshima, son cofondateur. Soit l'équivalent d'environ 250 000 salades par mois! Dans les cinq ans à venir, 25 fermes de ce type devraient voir le jour, dans les grandes villes du monde entier. Il y poussera laitue, roquette, cresson, chou frisé, persil... et plus de 250 autres variétés d'herbes et de végétaux à feuilles.

#### UNE LUMIÈRE CIBLÉE

L'intérêt des LED? Hormis leur faible consommation énergétique, elles offrent la possibilité de sélectionner des spectres lumineux spécifiques à chaque végétal, tout en fournissant la puissance nécessaire à une croissance et une qualité optimales de la plante. *“Depuis deux ans, nous obtenons grâce aux LED des puissances lumineuses relativement fortes dans des spectres déterminés, ce qui était impossible avec les néons ou les lampes à vapeur de sodium utilisées en serres ou en enceintes climatiques”,* explique Philippe Morel, ingénieur à l'Institut de recherche en horticulture et en semences de l'Inra.

Il faut savoir que les végétaux ne profitent pas de toute la lumière du soleil: ils réalisent leur photosynthèse dans des longueurs d'onde qui leur sont propres (lire Repères). Ainsi, une plante peut très bien pousser baignée uniquement de bleu et de rouge, des lon-



→ gueurs d'onde que la lumière monochromatique des LED peut justement dispenser de façon très précise.

Mieux: si ces longueurs d'onde sont boostées, les résultats sont impressionnants. Par exemple, une laitue de 300 g, dense et craquante, pousse en 4 semaines sous des LED de spectres rouges et bleus, contre 8 à 12 semaines en plein champ.

### MEILLEURES POUR LA SANTÉ

“La floraison nécessite un équilibre rouge clair-rouge sombre. Mais pour la croissance pure, pas besoin de rouge sombre, de vert ni de jaune; le rouge clair et le bleu suffisent”, explique Philippe Morel. Si le bleu, plus énergétique, est déterminant dans la régulation du métabolisme, chaque variété aura son dosage de longueurs d'onde spécifiques: du bleu, du rouge, une touche de vert, d'ultraviolets...

La plante doit aussi recevoir le dosage idéal de lumière. Lui en dispenser trop engendre un surplus énergétique qu'elle cherche par tous les moyens à gaspiller. Réduire ce stress lui permet de concentrer son énergie sur la production d'éléments photochimiques plus importants. L'agriculture comme maîtrise de la lumière: tout un art!

L'impact est tout aussi impressionnant sur la qualité nutritionnelle des cultures. “Des tests effectués sur notre roquette démontrent des taux supérieurs de 109% en vitamine A et 252% en vitamine C par rapport aux taux nationaux recommandés pour cette culture en plein champ”, affirme Marc Oshima. “Pour sa part, la culture de choux

## 5 atouts de la culture hors-sol sous LED

### 1 Optimisation de la lumière

Les plantes sont éclairées par des LED de longueurs d'onde spécifiques, adaptées à chaque variété. Ce qui permet d'obtenir des cultures qui peuvent être produites toute l'année, avec des cycles photosynthétiques plus courts et plus efficaces.

Réduction du temps de culture pour la laitue, la fraise, le safran



-50%



-66%



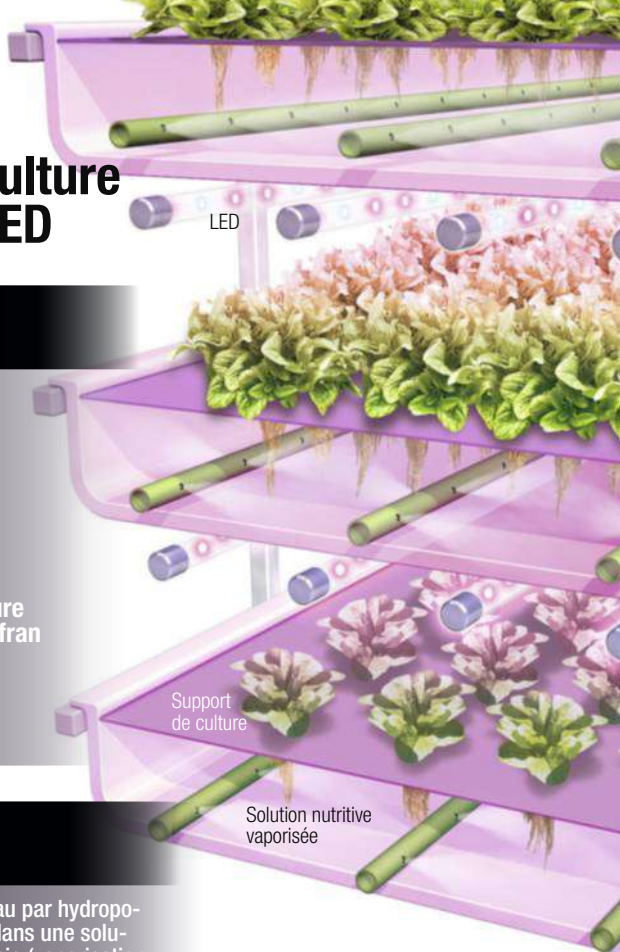
-83%

### 2 Optimisation de l'eau

Les plantes sont alimentées en eau par hydroponie (le système racinaire baigne dans une solution nutritive recyclée) ou aéroponie (vaporisation de cette solution en circuit fermé). Pour une consommation d'eau au moins dix fois moins importante qu'en pleine terre.

et de brocolis sous LED a entraîné une augmentation du taux de glucosinolates. Or, outre le fait de donner cette saveur unique aux crucifères, ces composés pourraient être liés à une possible réduction du risque de cancer”, complète Dean Kopsell, spécialiste de la physiologie des plantes à l'université de Géorgie (Etats-Unis). Quant aux pigments naturels des végétaux, des mesures ont révélé deux fois plus d'anthocyanes, réputés pour leurs vertus antioxydantes, chez les Arabidopsis, qui ont été étudiées.

Il s'agit donc de trouver la formule idéale, adaptée à la croissance de chaque plante,



en fonction des différents stades de développement (germination, croissance, floraison, fructification). “Ce que nous commençons à découvrir, c'est qu'il faut vraiment adapter à chaque variété un spectre lumineux et une intensité donnés”, souligne Philippe Morel.

Ce nouveau type d'agriculture propose ainsi une alternative radicale à la terre nourricière: en cultivant fruits et légumes sous ces lumières spécifiques, au sein d'espaces aveugles qui recréent des conditions climatiques sur mesure – température, humidité, débit d'air, CO<sub>2</sub>, oxygène-, on peut aujourd'hui

## Jargon

### L'aéroponie,

variante de l'hydroponie, laisse les racines en contact avec l'air et leur apporte les nutriments par vaporisation haute pression. La plante est isolée de la brume par un tissu ou du plastique.





### 3 Optimisation de la surface

La culture en enceinte climatique sur plateaux amovibles rentabilise l'espace de production. D'autant plus que la faible chaleur des LED permet d'éclairer les plantes au plus près. Par exemple, une ferme verticale de 12 niveaux peut produire 900 000 kg de végétaux par an sur 6500 m<sup>2</sup>.

### 4 Optimisation de l'environnement

Des filtres de traitement de l'air protègent de la pollution. L'enceinte, close, exclut les ravageurs. La maîtrise de la température, de la lumière et de l'hygrométrie évite maladies et champignons : aucun pesticide n'est utilisé.

### 5 Optimisation de la qualité

Chaque variété bénéficie de réglages spécifiques qui permettent d'optimiser le rendement (croissance, densité) et les qualités nutritionnelles et organoleptiques (goût, texture, couleur, odeur). Des capteurs permettent de surveiller ces paramètres.

donner aux plantes exactement ce dont elles ont besoin quand elles en ont besoin !

#### UNE AUBAINE POUR CIDADINS

Et les bénéfiques ne s'arrêtent pas à la qualité nutritionnelle des récoltes. Car de tels environnements contrôlés permettent une production continue qui fait fi des saisons, abolit toute pollution, s'affranchit des pesticides, entraîne des économies d'eau substantielles et même ouvre une voie face à la disparition progressive des sols agricoles (voir infographie). *"Nous avons développé un système d'aéroponie en boucle fermée qui utilise 95 % moins d'eau que*

*l'agriculture en pleine terre et 40 % de moins que l'hydroponie"*, assure Marc Oshima.

Quelle sera l'ampleur du mouvement ? Une chose est sûre : le procédé ne remplacera pas les champs. Il s'agit d'une agriculture vouée à rester confinée... Pour une raison simple : si toutes les plantes sont *a priori* cultivables sous enceinte climatique, le coût énergétique de ces systèmes – lequel se répartit en moyenne à 40 % pour l'énergie électrique, 40 % pour l'éclairage et 20 % pour le chauffage et les à-côtés – suppose une rentabilisation de l'espace et limite les productions aux végétaux de faible encombrement et à croissance rapide.

Pour autant, *"le champ des possibles semble immense"*, s'enthousiasme Christian Rabin, responsable des innovations en éclairage pour Cesson, société spécialisée dans la maîtrise énergétique. Car il existe de nombreux marchés ciblés tels que les grosses mégapoles difficilement accessibles ou polluées, les zones au climat hostile, les industries pharmaceutiques et cosmétiques avec la production de végétaux à forte valeur ajoutée... et pourquoi pas, à plus long terme, les futures missions spatiales habitées.

Et le goût ? Si les industriels mettent en avant l'absence d'impact en la matière, les scientifiques ont encore du mal à le mesurer. *"Nous débutons l'étude des effets des LED sur la production des sucres et des arômes ; ces données doivent encore être objectivées en laboratoire"*, avoue Dean Kopsell, qui note cependant que les fraises et framboises dégustées étaient *"douces et parfumées"*.

Philippe Morel, pour qui *"les salades sont tout à fait correctes, voire très bonnes"*, n'a pas d'inquiétude à ce sujet : *"Si la photosynthèse est satisfaisante, il n'y a pas de raisons d'avoir un produit gustativement dégradé."*

L'avenir dira si les LED vont éclairer d'un jour nouveau nos fruits et légumes. En tout cas, on a hâte de les goûter...



A voir :  
une vidéo sur  
les avantages  
de la culture  
sous LED.  
A lire : une  
publication sur  
les qualités  
nutritionnelles  
de ces cultures.

★  
EN  
SAVOIR  
PLUS

science-et-vie.com



> Les ailes du Lightning-Strike pivotent, au décollage et à l'atterrissage, pour que les hélices qu'elles abritent soient alors à l'horizontale, comme sur un hélicoptère.



ÉTATS-UNIS

# L'avion militaire du futur a fait son premier vol

Voilà un aéronef qui pourrait, dans quelques années, améliorer grandement l'efficacité des missions de l'armée américaine. Lightning-Strike, c'est son nom, cumule en effet de nombreux avantages : il est rapide (plus de 700 km/h), capable de décoller et atterrir à la verticale – donc quasiment sur tous les terrains – et d'effectuer des vols stationnaires, le tout sans consommer trop de carburant grâce à sa propulsion hybride électrique. Imaginé par l'entreprise Aurora Flight Sciences pour le compte de l'agence de défense américaine (Darpa), il est très différent des précédents projets visant à combiner la vitesse d'un avion à l'agilité d'un hélicoptère. Pour

l'aérodynamisme, sa forme reste celle d'un "avion-canard" avec deux petites ailes à l'avant et deux autres, plus grandes, à l'arrière. Mais son innovation réside dans ce que cachent ses ailes : 24 hélices, 12 de chaque côté de l'appareil. Pour permettre à l'engin de décoller et atterrir verticalement, les ailes pivotent afin que les hélices se retrouvent à l'horizontale ; elles reviennent ensuite à leur position initiale en vol. Malin ! Un premier vol d'essai avec un drone au format 1/5, piloté depuis le sol, vient d'être effectué avec succès. Reste donc à construire la version grandeur nature et procéder à de nouveaux tests, avec un pilote, avant son lancement prévu fin 2018.

L.B.

DARPA



STUTTGART (ALLEMAGNE)

## Un volet modulable innove pour les toitures

Suivant l'humidité ambiante, ce volet se replie tout seul sur lui-même. Imaginé par David Correa, de l'université de Stuttgart, il est constitué d'un matériau composite, à base de bois et de plastique, imprimé en 3D. Selon le degré de sensibilité et l'intensité du mouvement que l'on souhaite lui donner, il suffit de faire varier les différentes couches hygroscopiques qui le composent. On pourrait en assembler des dizaines pour former, par exemple, un toit de stade qui s'actionne en fonction de la météo. A envisager d'ici cinq à dix ans... **L.B.**



ROTTERDAM (PAYS-BAS)

## Les premiers convois routiers autonomes ont sillonné l'Europe

En avril dernier, six constructeurs ont relevé le défi lancé par les Pays-Bas, actuellement à la tête de l'Union européenne : faire rouler des camions autonomes en convois entre plusieurs pays. Les camions (jusqu'à 6), partis de différentes villes d'Europe et devant rallier Rotterdam, étaient pilotés par des ordinateurs tenant compte des autres véhicules grâce à des radars, caméras et GPS. Ils communiquaient entre eux par wi-fi, réduisant les temps de réponse en cas de freinage. Roulant plus près les uns des autres que des camions classiques, ils prenaient moins d'espace sur la route, et chacun pouvait profiter du phénomène d'aspiration du véhicule qui le précède, diminuant ainsi sa consommation de carburant. Un aperçu de ce que pourrait devenir le transport routier. **S.F.**

SAN FRANCISCO (ÉTATS-UNIS)

# Des **lunettes connectées** pourraient **rendre la vue** aux aveugles

Imaginez une application qui souffle à l'oreille des aveugles la réalité qui les entoure... Voici le projet Seeing AI de Microsoft. Son développeur, Saqib Shaikh, lui-même aveugle, s'est appuyé sur les interfaces de programmation des Cognitive Services de Microsoft, qui permettent d'analyser des images, reconnaître des visages... Il suffit de chausser des lunettes intelligentes et de glisser son doigt sur la branche pour qu'un cliché soit pris, analysé, et qu'une voix décrive la scène. En quelques millisecondes. *"L'application peut même indiquer l'âge, le genre, et les émotions ressenties par les personnes avec qui vous discutez"*, précise l'ingénieur. **E.T.-A.**



A. MENGES/ICD INSTITUTE FOR COMPUTATIONAL DESIGN, UNIVERSITY OF STUTTGART - ROBINARON

Rendez-vous en...  
**2050**

## UNE CATAPULTE ENVERRERA LES AVIONS DANS LE CIEL

Pour faire décoller un avion, douze équipes européennes ont cherché l'inspiration du côté... des trains à sustentation magnétique. Résultat : le projet Gabriel, imaginé pour l'horizon 2050. Ici, plus question de train d'atterrissage, mais de lévitation magnétique. L'avion, un A320, est placé sur un panier fixé à une sorte de traîneau, puis lancé sur une rampe électromagnétique jusqu'à ce qu'il atteigne une vitesse suffisante pour décoller. Et ça marche aussi à l'atterrissage, puisque le dispositif peut récupérer l'appareil. Principaux bénéfices : réduire la consommation de carburant (- 79,6 % au décollage), les émissions de CO<sub>2</sub> (- 58 %), le bruit (- 64 % au décollage, - 19,7 % à l'atterrissage) et surtout les coûts (- 3 000 € par vol d'un A320). *"Un projet tout à fait viable"*, promet Daniel Rohacs, de l'université de technologie et d'économie de Budapest, qui a coordonné l'étude. Le concept a déjà été validé à l'été 2014, reste à régler certaines questions, comme les atterrissages d'urgence, et à convaincre aéroports et compagnies de le financer. Ce qui pourrait très bien venir d'Airbus : le géant européen a en effet présenté un projet similaire, Eco-Climb, lui aussi pour 2050. A cette nuance près, insiste Daniel Rohacs : *"Le leur nécessite un énorme panier roulant qui ne réduit pas les frictions entre les roues et le sol."* **E.T.-A.**



GLASGOW (ROYAUME-UNI)

## L'énergie solaire pourrait servir à stabiliser un satellite

Un satellite tournant autour de la Terre ne peut rester que quelques minutes au-dessus d'un pôle, celui-ci étant immobile sur l'axe de rotation de notre planète. Pour que de tels engins puissent se maintenir dans cette position, l'Agence spatiale européenne (ESA) envisage de les équiper d'une voile solaire (poussée par la pression qu'exerce la lumière sur la voile) et d'un moteur électrique alimenté par des panneaux solaires. Ultralégers, ces deux équipements lui fourniraient l'énergie nécessaire pour garder sa position sans l'alourdir. Une trajectoire en colimaçon l'emmènerait de son point de lancement à son point de satellisation. **S.F.**

BORDEAUX

## La réalité augmentée s'invite à bord du tram

Les voyageurs du tramway bordelais ont récemment expérimenté la réalité virtuelle. *"Une première mondiale"*, se félicite Jean-Luc Rumeau, DG d'Axyz (pour l'intégration 3D). En pratique : deux caméras filment le paysage de chaque côté du tram. Puis un algorithme développé par le LIST (CEA Tech) repère les points caractéristiques du paysage afin d'y intégrer des images de synthèse, sur deux écrans de part et d'autre de la rame. Les voyageurs voient ainsi défiler en temps réel édifices remarquables en 3D, infos pratiques, anecdotes historiques... **E.T.-A.**

NAPLES (ITALIE)

# Une soucoupe flottante révolutionne le cabotage

Un objet flottant non identifié, cabotant le long des côtes méditerranéennes (3,5 nœuds, environ 6,5 km/h maxi) et mouillant dans les plus belles criques sans les polluer, grâce à un moteur électrique alimenté par une batterie branchée sur 40 m<sup>2</sup> de panneaux solaires : c'est le projet UFO, du fabricant italien de bateaux Jet Capsule. Cette sphère de 6 m de haut, en fibre de verre, est entourée d'un anneau accueillant terrasse et potager. Le rez-de-chaussée abrite salon et salle à manger ; le sous-sol, immergé, salle de bain et chambre. Eolien et courant marin fourniront l'énergie, et pour plus d'autonomie, un générateur d'eau convertira eau de pluie et eau de mer en eau potable. Jet Capsule cherche encore des financements afin de développer un prototype fonctionnel. **E.T.-A.**

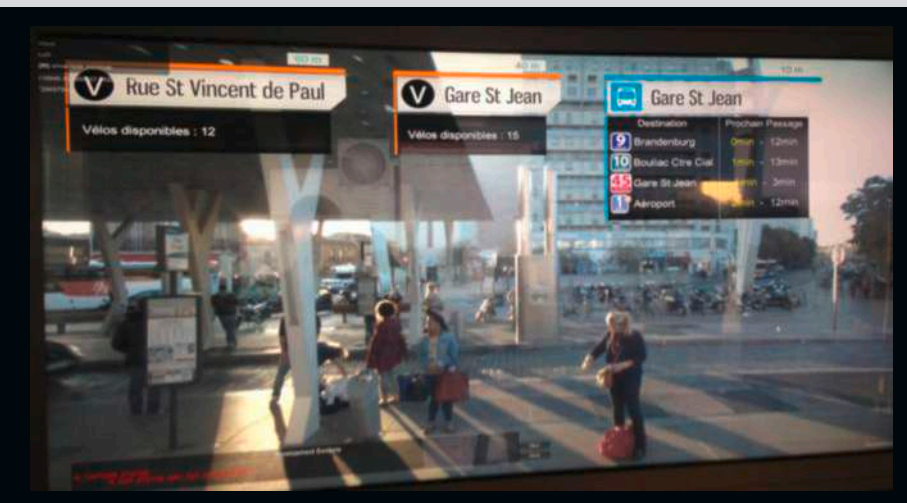
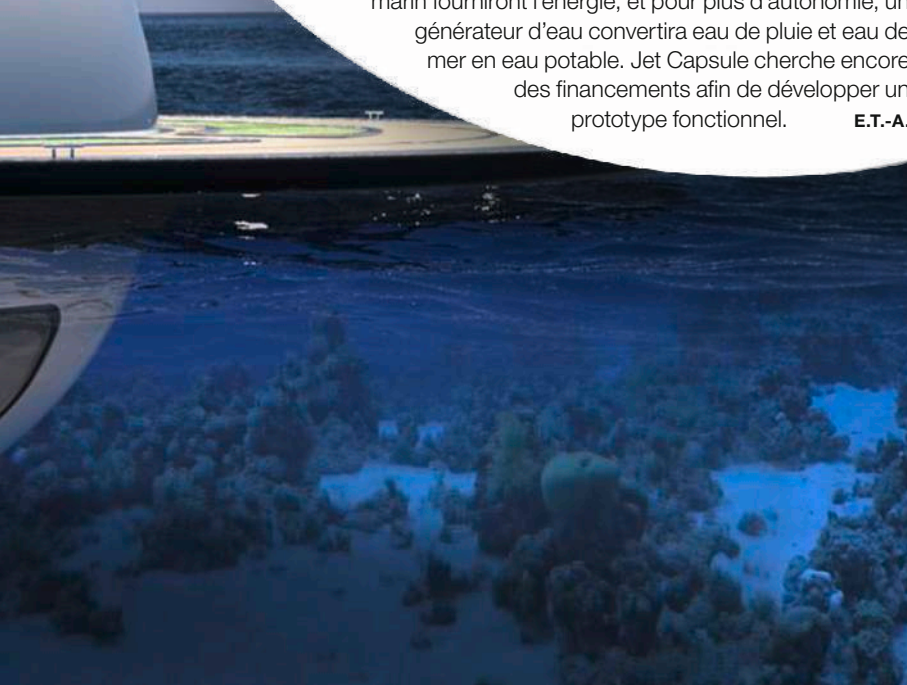
## Idée neuve



### “REPLACER UNE VITRE PAR DU BOIS TAMISERAIT LA LUMIÈRE DU JOUR”

Lars Berglund, chercheur à l'Institut royal de technologie de Stockholm

*“C'est assez séduisant de penser à du bois transparent ! Mais le plus intéressant, scientifiquement, c'est que nous ayons réussi à modifier le bois à l'échelle nanométrique”,* se réjouit Lars Berglund, de l'Institut royal de technologie de Stockholm. Voici la recette de son équipe : prenez du balsa ou du pin et extrayez-en la lignine, ce composant qui leur confère couleur et rigidité. Le bois, déjà très poreux, le devient encore plus. Comblez l'espace par un polymère, l'acrylique. Vous obtenez un matériau qui laisse passer la lumière jusqu'à 85 % pour 1 mm d'épaisseur. Mieux : *“Les nanofibres de cellulose ont des propriétés similaires aux fibres de Kevlar et sont encore plus rigides quand elles sont liées au polymère”,* explique le chercheur. Le matériau composite est donc plus résistant que du bois ou de l'acrylique seuls. L'objectif est notamment d'en faire des cellules photovoltaïques. Mais aussi des fenêtres ou des panneaux, en particulier quand on souhaite laisser entrer une lumière diffuse. **H.G.**



JET CAPSULE - KEOLIS BORDEAUX MÉTROPOLE, CEA TECH AQUITAIN, AXYZ, MECA, BIG ARCHITECTE - DR

ROYAUME-UNI

## On garera bientôt les **vélos** dans des **tours en verre**

Quoi de plus pratique, pour gagner de la place mais aussi éviter que les vélos ne soient volés, que de les empiler dans une tour bien fermée ? Cette solution innovante, venue du Japon, s'apprête à être déployée pour la première fois au Royaume-Uni par Eco Cycle, l'an prochain. Installé près d'une station de métro, par exemple, le cylindre en verre de 8 m de diamètre et 11 m de hauteur peut loger 204 vélos. Les cyclistes n'ont qu'à placer le leur (muni d'une puce) dans l'ascenseur-automate à l'entrée, qui s'occupe de le garer sur l'un des rails répartis dans les étages. Grâce à un badge d'identification, ils le récupèrent ensuite en quelques secondes. Comparé à un parking classique de même capacité, ce système occupe 50 m<sup>2</sup> au sol, soit 4 fois moins d'espace ! Sans compter qu'il se décline en version souterraine, encore plus discrète. **L.B.**



ECOCYCLE



# LA SCIENCE & LA VIE

114

Mode du "Miracle Morning"

## Se lever tôt peut nuire à la santé



126  
Technofolies

**Ce scooter  
électrique  
se plie comme  
un vélo**



130  
Questions/Réponses

**Les arbres  
meurent-ils  
de vieillesse ?**



GETTY IMAGES/FUCKRRF - DR

**Science  
& société**

114

**Science  
& vie pratique**

122

**Science  
& culture**

128

### **Mode du "Miracle Morning"**

Se lever tôt peut nuire à la santé

### **Ouvrir la Seine à la baignade ?**

Le dernier problème à résoudre est bactériologique

### **Essor du covoiturage**

Son bilan écologique est très relatif

### **Pollution aux particules fines**

La majorité des villes françaises dépasse les normes

### **Bon à savoir**

Dix conseils pratiques en direct des publications scientifiques

### **Technofolies**

Un scooter électrique qui se plie comme un vélo ; un vrai sous-marin de poche pour des records de plongée ; l'e-bracelet qui change de motifs ; les runnings peuvent aussi faire office de coach...

### **Questions/Réponses**

Les arbres meurent-ils de vieillesse ? Toutes les étoiles visibles appartiennent-elles à notre galaxie ? Comment peut-on être chauve et barbu ?

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

Tour de France des sites pollués : l'anti-guide touristique

### **Il y a... 40 ans**

Viking se pose sur Mars

Mode du “Miracle Morning”

# Se lever tôt peut nuire à la santé

L'avenir appartient à ceux qui se lèvent tôt: c'est en substance ce qu'annonce la théorie du “Miracle Morning”. Plus précisément, à en croire ce “matin miraculeux”, se lever tous les jours aux aurores, entre 4 h et 6 h, ou du moins une demi-heure plus tôt qu'à l'accoutumée, serait la clé du bonheur, de la réussite et d'une bonne santé. Alors, doit-on tous se lever tôt?

Clairement, non: “Si cette discipline convient à certains, elle peut induire chez la grande majorité un manque de sommeil et, par là, nuire à leur santé, met en garde le neurobiologiste Jacques Taillard, spécialiste

des rythmes biologiques au CNRS. Cette mode reflète un problème de notre société: on veut tout faire (travail, sport, divertissement...), quitte à empiéter sur notre nuit de sommeil. Or, cela part de la dangereuse considération que dormir est une perte de temps; ce qui est une grosse erreur...”

## DES BIENFAITS ÉPHÉMÈRES

Il est vrai que se lever tôt permet de prendre son temps, notamment avant d'aller travailler, et d'être ainsi moins stressé. De plus, être debout avant les autres confère le sentiment très agréable que l'on peut faire plein de choses, et cela dans le calme. Sauf que “tous ces bienfaits immédiats sont éphémères et peu significatifs comparés au manque de sommeil que cela peut induire”, recadre Joëlle Adrien, neurobiologiste et présidente de l'Institut national du sommeil et de la vigilance (INSV).

Certes, dormir beaucoup, voire trop, n'est pas non

plus la panacée: une étude australienne de 2015, portant sur 200 000 personnes de plus de 45 ans suivies pendant six ans, a montré que dormir plus de neuf heures par nuit était corrélié à une augmentation du risque de mortalité de... 44%! “Oui, mais la plupart des personnes qui dorment longtemps présentent des troubles du sommeil, en particulier un trouble respiratoire nocturne qui favorise l'hypertension artérielle, les maladies cardio-vasculaires, le diabète, l'obésité et parfois

la dépression, diminuant donc l'espérance de vie”, relève Jacques Taillard.

Certes, plusieurs travaux ont aussi mis en évidence que les personnes se levant naturellement tôt (une ou deux heures avant les autres) réussissent mieux, sont plus heureuses, moins dépressives et en meilleure forme que les autres. Des travaux finlandais menés sur 6 071 personnes ont par exemple établi que “les scores obtenus aux tests de dépression étaient 2,7 à 4,1 fois plus faibles chez les personnes du matin”.

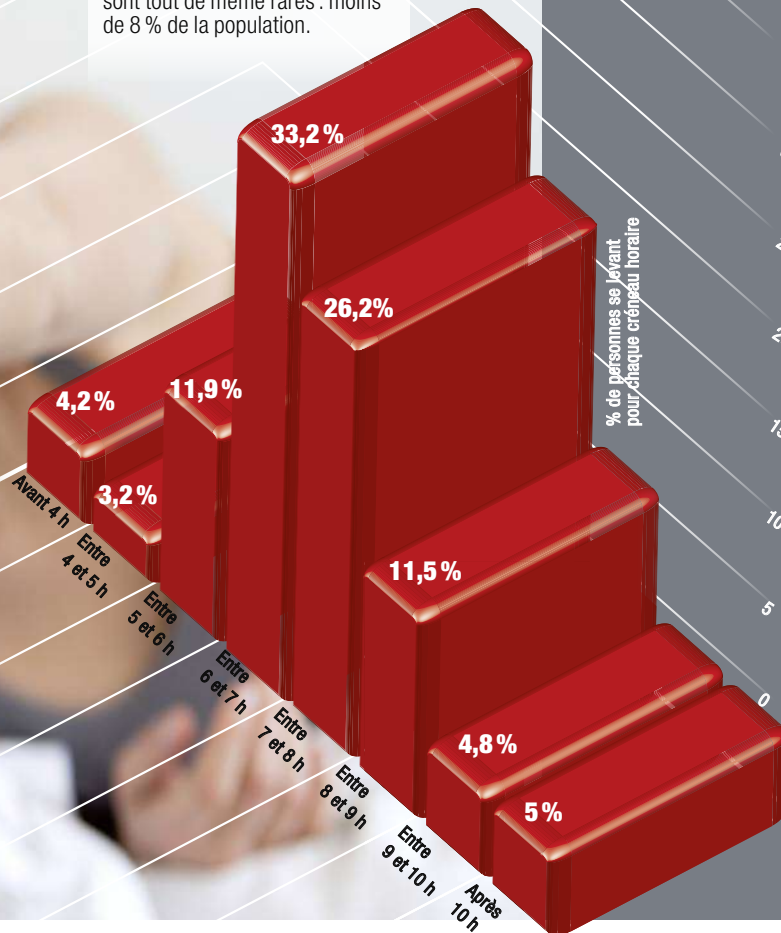


## LE RAPPEL DES FAITS

Paru en décembre 2012 aux États-Unis, *Miracle Morning*, de Hal Elrod, s'est vendu à plus de 80 000 exemplaires. En avril, son auteur promouvait sa méthode en France: se lever plus tôt permettrait de vivre plus heureux et en meilleure santé. Un vrai phénomène de société.

**La moitié des Français sont déjà levés à 7 h**

Mais les vrais lève-tôt (avant 5 h) sont tout de même rares : moins de 8 % de la population.

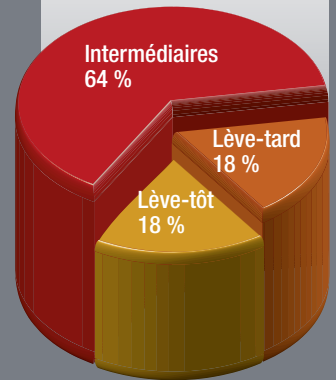


**36%**

des actifs reconnaissent faire des nuits de moins de 6 h, soit 2 h de moins que les 8 h recommandées.

**Peu de Français sont naturellement lève-tôt**

Ils ne sont que 18 %, soit autant que les lève-tard. Mais la plupart des gens (64 %) ont un chronotype intermédiaire.



SOURCES : INSEE, INSV

Sauf qu'ici, "les différents bienfaits observés sont liés au fait que les sujets du matin respectent leur rythme naturel. Leurs horaires physiologiques collent parfaitement avec ceux imposés par la société, contrairement à ceux des gens du soir", précise le neurobiologiste.

Et c'est bien là l'important : respecter son rythme biologique. Lequel n'est pas le même chez tous les individus, contrairement à ce que laisse croire cette mode. De fait, les biologistes distinguent trois "chronotypes" (voir encadré page suivante):

le chronotype "du matin", qui tend à se réveiller et à se coucher tôt, à être plus productif en début de journée et à trouver difficile de rester éveillé la nuit (18 % de la population); celui "du soir", son opposé (18 %); et le chronotype intermédiaire

(64 %). "Ce chronotype est établi en posant simplement la question : êtes-vous du matin ou du soir? Mais il est imposé par nos gènes, et donc impossible à changer; on ne peut pas devenir franchement du matin si on est naturellement du soir,

ou intermédiaire...", assure Jacques Taillard.

Sachant que, par ailleurs, nos besoins en sommeil sont en grande partie innés. Ainsi, certains dits "courts dormeurs" se portent très bien avec moins de six heures de sommeil par nuit. →



JACQUES TAILLARD  
Neurobiologiste, spécialiste des rythmes biologiques au CNRS

**Notre chronotype est imposé par nos gènes. On ne peut pas devenir "du matin" si on est naturellement "du soir"**

## Manquer de sommeil peut avoir de lourdes conséquences...

De nombreuses études ont montré que dormir moins de 6 h (pour les petits dormeurs), voire moins de 8 h (pour la majorité) avait des effets sur notre santé, notre humeur et notre efficacité.

→ Quand les “longs dormeurs” ont, eux, besoin de plus de neuf heures. La moyenne des besoins étant de 7 à 8 h de sommeil. Or, si l'on ne respecte ni ses besoins en sommeil ni son chronotype, gare à la dette de sommeil! Surtout chez les personnes du soir, victimes alors d'un décalage entre les horaires dictés par leur horloge biologique et ceux de la société, qui provoque chez eux un “jetlag social”, une désynchronisation entre rythme biologique et comportement. Mais pas que: “*Un actif sur trois, tous chronotypes confondus, manque déjà de sommeil à cause de ses contraintes professionnelles, mais aussi parce qu'il veut profiter de ses soirées*”, souligne Joëlle Adrien. Une enquête de l'Insee a montré que les Français dormaient 1 h 30 de moins qu'en 1960.

Or, c'est démontré, le manque de sommeil peut induire des troubles: ma-

**SUR LES PERFORMANCES**  
Perte d'énergie, déficit d'attention, manque de concentration, vigilance réduite, problèmes de coordination, oublis.

**SUR LA SANTÉ**  
Hypertension, troubles métaboliques (obésité, diabète), moindre résistance aux maladies, risque de mortalité accru.



**SUR L'HUMEUR**  
Stress, anxiété, irritabilité, perte de motivation, risque de dépression.

ladies cardio-vasculaires, moindre résistance aux maladies, vigilance atténuée, diabète, obésité, stress, dépression...; voire, dans les cas les plus sévères, un risque accru de mortalité. Une étude américaine menée sur 9 588 volontaires a même conclu que “*les personnes ne dormant qu'entre 2 et 4 h, 5 h ou 6 h par nuit voient leurs risques d'obésité augmenter de, respectivement, 235 %,*

*60 % et 27 %*”. Bref, se lever aux aurores peut être dangereux.

### AVOIR UN RYTHME RÉGULIER

Le risque varie selon les individus. “*Comme ceux du matin s'endorment naturellement tôt, s'ils se lèvent à 5 h au lieu de 7, ils récupéreront facilement en se couchant 2 h plus tôt*”, explique Joëlle Adrien. Mais pour la grande majorité des “chronotypes intermédiaires”, les

risques sont réels, précise-t-elle: “*S'ils veulent se lever à 5 h, ils devront renoncer à une partie de leur soirée, ce qui est loin d'être facile, car la vie sociale du soir est riche*.” De fait, à 23 h, 1 Français sur 2 ne dort pas; et à 1 h du matin, 1 sur 10 est encore éveillé.

Quant aux personnes du soir, c'est franchement problématique: “*Leur horloge interne les prédisposant à veiller tard, elles auront du mal à fermer l'œil, même si elles se couchent tôt et évitent les lumières bleues des écrans qui perturbent l'endormissement*”, détaille Jacques Taillard.

Seules les personnes ayant de faibles besoins en sommeil s'en sortiront mieux que les autres et ce, quel que soit leur chronotype. Et c'est aussi vrai pour les courts dormeurs du soir: “*Par exemple, ceux qui n'ont besoin de de 4 h par*

## Pourquoi on est “du matin” ou “du soir”

Le chronotype est imposé par les gènes qui régulent notre horloge biologique, un réseau de cellules nerveuses situées au cœur du cerveau, qui contrôle et régule nos différents rythmes biologiques. Le chronotype du soir serait dû à une horloge interne dont la journée dure plus de 24 h: ces personnes s'endormiraient plus tard car leur journée interne dure plus longtemps que la “normale”. Le chronotype du matin, lui, découlerait d'une horloge interne à la journée plus courte. “*Ces sujets sont aussi en avance de phase, quand ceux du soir sont en retard de phase, précise le neurobiologiste Jacques Taillard. Du coup, ceux du matin se lèvent, se couchent plus tôt.*” On ne peut pas changer de chronotype, mais il évolue avec l'âge: enfant, on est du matin, puis on devient progressivement du soir, avec un maximum vers 20 ans, avant de redevenir du matin. Chez les 30-49 ans, 25 % des sujets sont du matin et 26 % du soir; chez les 44-58 ans, le rapport est de 28 % et 20 %.

Ouvrir la Seine  
à la baignade ?

## Le dernier problème à résoudre est bactériologique



**FRÉDÉRIC MULLER**

Responsable de l'agence de l'eau Seine-Normandie

**Science & Vie :** Sur quels critères autorise-t-on la baignade dans un fleuve ?

**Frédéric Muller :** En fait, le niveau d'exigence varie selon qu'il s'agit d'un événement sportif ponctuel (un triathlon) ou d'une autorisation pérenne. Dans les deux cas, l'attention est portée sur la qualité bactériologique de l'eau, notamment *Escherichia coli* et les entérocoques [photo] issus des matières fécales. Il faut savoir que la Seine est un fleuve au débit modeste et sous très haute pression démographique, avec 6,4 millions d'habitants dans Paris et sa petite couronne. Le potentiel de dilution des rejets y est vingt fois inférieure à celui du Rhône, à Lyon, et cent fois moindre que celui du Rhin, à Strasbourg... Ce qui nécessite donc des traitements intenses.

**S&V :** Justement, quel est à ce jour l'état de la Seine ?

**F.M. :** La situation s'est largement améliorée depuis vingt ans ! J'en veux pour preuve la présence d'invertébrés et d'une trentaine d'espèces de poissons. Tous les indicateurs physico-chimiques du fleuve (teneur en oxygène, azote, phosphore, métaux lourds) ont progressé ; la quantité de phosphore a ainsi été divisée par quatre. Plus encore que la désindustrialisation du bassin de la Seine, cette tendance est à mettre au crédit des progrès techniques des stations d'épuration. Mais le problème des bactéries demeure : nos stations d'épuration n'ont pas été conçues pour stériliser leurs rejets. Et pour cause, ce paramètre n'est exigé que pour la baignade.

**S&V :** Le projet de la Mairie de Paris est-il réalisable ? Que resterait-il à accomplir ?

**F.M. :** Oui, cet objectif est réalisable ! Des

études sont en cours pour installer des procédés de désinfection (ultraviolets ou ozone) dans les installations en amont de Paris. Mais la question des déversoirs d'orage se pose aussi : les deux tiers des réseaux parisiens mêlent eaux usées et pluviales, et sont donc susceptibles de déborder dans le milieu naturel jusqu'à la Seine en cas de fortes précipitations. Des retenues sont construites. Enfin, il faudra limiter les rejets des bateaux stationnés ou navigant sur le fleuve, tout en surveillant les pollutions accidentelles. Les progrès déjà accomplis nous rendent optimistes.

Propos recueillis par V. Nouyrigat

nuît, peuvent très bien se coucher à 1 h et se lever à 5 h ! Mais ce type de personne est très rare. Tellement qu'ils sont difficiles à chiffrer", illustre Joëlle Adrien.

Un conseil pour ceux qui voudraient ou doivent se lever tôt : respecter cette discipline tous les jours de l'année. "Cette régularité permettra à l'organisme de s'adapter plus ou moins à sa nouvelle vie. On ne peut pas changer de chronotype, mais nos horloges internes peuvent s'adapter à un rythme imposé sur, et c'est très important, une très longue durée", explique Jacques Tailard. Ce qui nuit le plus à la santé, ce sont les modifications répétées du rythme de sommeil.

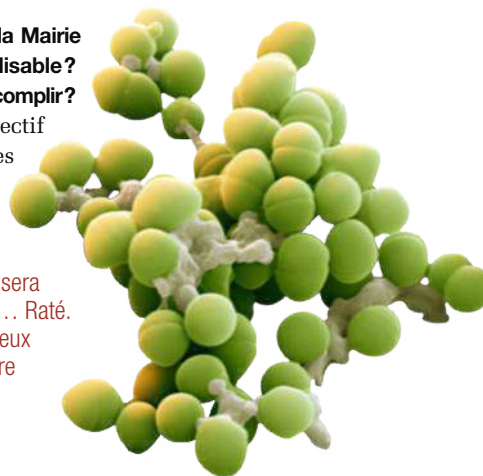
Kheira Bettayeb

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

### LE RAPPEL DES FAITS

**28 novembre 1988 :** Jacques Chirac promet qu'il sera possible de se baigner dans la Seine d'ici cinq ans... Raté.

**8 mai 2016 :** dans le cadre de la candidature aux jeux Olympiques 2024, la Mairie de Paris souhaite rendre possible la baignade dans le fleuve.



## Essor du covoiturage

# Son bilan écologique est très relatif

“Lorsque vous covoiturez, vous participez à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.” Un argument que l’entreprise Blablacar affiche sur internet. Et qui sonne comme une évidence. Economique, écologique et convivial, le covoiturage semble en effet doté de toutes les vertus. Sauf qu’à y regarder de plus près, ce n’est pas si simple. “En termes d’économies et de lien social, le bénéfice est réel.

Mais qu’on arrête de dire que cette pratique est écologique!”, s’agace Isabelle Robert, maître de conférence en sciences de gestion à l’université Lille II, qui s’est appliquée à démontrer comment ce qui ressemble à du bon sens cache en fait des calculs diablement compliqués.

Car si le covoiturage est une réelle alternative à la voiture en solo sur les courtes distances (en majorité les trajets domicile-travail), et permet bien de faire diminuer le nombre de voitures qui circulent, son bénéfice est moins clair sur les longues distances... L’Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie (Ademe) s’est penchée sur le sujet: le covoiturage permettrait d’économiser 12 % des émissions de CO<sub>2</sub> par kilomètre à l’échelle d’un



équipage type, constitué d’un conducteur et de 2,5 passagers.

### ÉCONOMIES FICTIVES

Comment l’Ademe a-t-elle obtenu ce résultat? En demandant aux usagers ce qu’ils auraient fait s’ils n’avaient pas covoituré lors de leur dernier déplacement, puis en traduisant en émissions de CO<sub>2</sub> les kilomètres économisés grâce au covoiturage. Un calcul

contestable, car en réalité, les principaux modes cités par les passagers – les transports en commun – ne s’arrêtent pas pour autant de circuler. Une partie de ces économies est donc fictive.

En effet, sans covoiturage, 69 % des passagers se seraient déplacés en train. “Le covoiturage se fait au détriment des transports en commun”, confirme Vincent Kaufmann, sociologue à l’Ecole polytechnique de

ALEBOT/PHOTONSTOP - SHUTTERSTOCK - S.AQUINDO

### LE RAPPEL DES FAITS

**Le covoiturage** connaît en France un réel essor depuis le début des années 2010. En 2013, le site [covoiturage.fr](http://covoiturage.fr) (lancé en 2004) est devenu Blablacar, société qui compte aujourd’hui 25 millions de membres dans le monde.



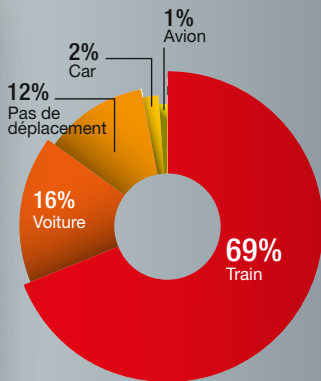
### EN CHIFFRES

## 2

C’est le nombre de stations de tramway qu’Augsbourg, en Allemagne, vient de doter de “feux rouges au sol” pour les piétons. Le but de ces LED clignotantes incrustées dans la chaussée: assurer la sécurité des accros au portable.

## 260 000

Ce serait le nombre de décès par cancer dus à la crise économique de 2008-2010 dans l’OCDE, selon des épidémiologistes anglais et américains. Pertes d’emplois et réductions budgétaires de santé ne sont pas que des mots.



### C'est le train qui pâtit le plus du covoiturage

Qu'auraient choisi les passagers s'ils n'avaient pas eu accès au covoiturage pour leur dernier déplacement ? En majorité le train, moyen de transport le moins polluant...

SOURCE : ADEME

Lausanne. Or, face au train, le bilan environnemental est négatif pour la voiture partagée." Le mode de transport longue distance qui émet le moins de gaz à effet de serre, le train, est donc la première victime collatérale du covoiturage. Pourquoi ? Parce qu'il coûte plus cher. Et c'est bien le critère financier – et non écologique – qui détermine le choix des usagers.

Autre enseignement de l'étude : sans covoiturage, 21 % des conducteurs se déplaceraient moins souvent. Zied Mani, maître de conférence à l'université de Nantes, confirme : "Accéder à des déplacements à bas prix génère de nouvelles consommations : partir en week-end à la dernière minute ou voyager en Europe." Quel est l'impact

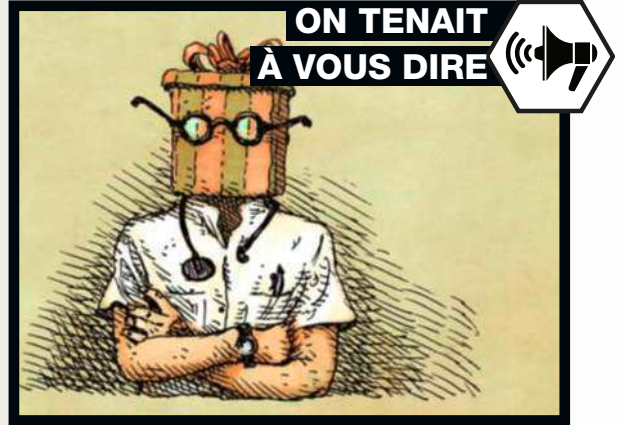
écologique de cette nouvelle mobilité ? L'Ademe ne l'a pas quantifié...

### PAS DE VISION GLOBALE

Mathieu Chassignet, ingénieur à l'Ademe, note un effet positif : "13 % des covoitureurs retardent l'achat d'une voiture." Isabelle Robert, elle, reste dubitative : "Les études se focalisent sur un segment de la consommation. Or, seule une vision globale permettrait de déterminer l'impact environnemental. A quoi sert l'argent économisé par les covoitureurs ? C'est la question. S'il s'agit de voyager plus ou d'acheter un smartphone, c'est raté. Sans réduction globale de la consommation, les vertus écologiques du covoiturage ne sont qu'un leurre."

N. Picard

## ON TENAIT À VOUS DIRE



## Médecins et industriels : à quand la vraie transparence !

Combien faudra-t-il de scandales pour qu'enfin, l'esprit de la loi votée en urgence en 2011 après l'affaire du Mediator, soit respecté ? Ce texte devait pourtant garantir la mise en lumière de tous les conflits d'intérêt entre l'industrie et les experts sanitaires. Ce devait être la fin des liens cachés qui orientent, dans l'ombre, certaines décisions. Or, la transparence est encore bien trouble, en témoigne la révélation récente de liens entre Total et un pneumologue spécialiste des effets du diesel ! En mars dernier, la Cour des comptes a enfin publié un rapport sur la gestion des conflits d'intérêt. Et des failles majeures y sont dénoncées, dont certaines déjà pointées par *Science & Vie* il y a cinq ans. Ainsi, en consultant le site [www.transparence.sante.gouv.fr](http://www.transparence.sante.gouv.fr), la première impression pourrait être que les médecins déclarent tous les avantages que leur consentent les industriels : invitations au restaurant, frais de déplacements, cadeaux... mais ces listes à la Prévert – 20 € par-ci, 200 € par-là – cachent parfois une réalité autrement plus sonnante et trébuchante. Comme la déclaration de leurs contrats de "conseil aux industriels", pour des montants qui se comptent souvent en dizaines ou en centaines de milliers d'euros, qui n'est, elle, toujours pas légalement obligatoire ! Autrement dit, le nom d'un expert peut être suivi d'une liste de déclarations sans fin... qui "omet" le plus important. Et de toute façon, le praticien ne risque rien, ou presque. Puisque, comme le souligne le rapport, "l'absence de contrôle des informations déclarées" est la règle. Injuste pour ceux qui jouent le jeu de la transparence. Francement, notre santé de citoyens mérite que cela change !

Caroline Tourbe

# 70%

C'est la proportion d'élèves et étudiants non-fumeurs exposés à la fumée de cigarette autour de leur établissement, d'après l'Observatoire français des drogues et toxicomanies. La loi Evin n'a pas réglé le problème du tabagisme passif chez les jeunes.

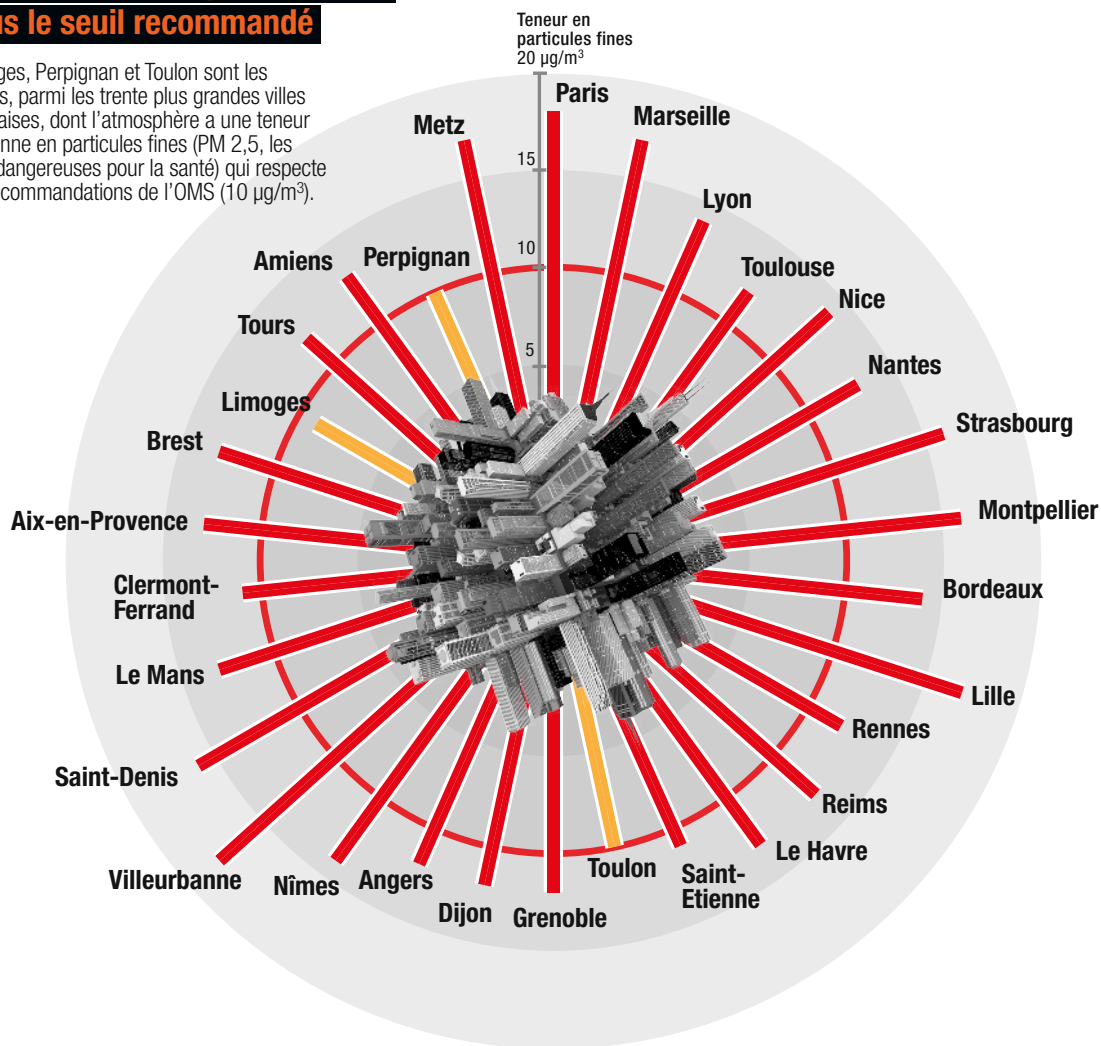


Pollution de l'air aux particules fines

# La majorité des villes françaises dépasse les normes

## Seules trois métropoles restent sous le seuil recommandé

Limoges, Perpignan et Toulon sont les seules, parmi les trente plus grandes villes françaises, dont l'atmosphère a une teneur moyenne en particules fines (PM 2,5, les plus dangereuses pour la santé) qui respecte les recommandations de l'OMS (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



SOURCES : OMS, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, INVS, INSEE.

**22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

C'est la teneur moyenne en particules fines (PM 2,5 : diamètre inférieur à 2,5 micromètres) de l'atmosphère de Pantin (région parisienne), la plus élevée de France.

**16%**

C'est la proportion des villes françaises (sur un échantillon de 300) qui se maintiennent en dessous des 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  recommandés par l'OMS.

**7 mois**

C'est la durée de vie gagnée en réduisant la pollution aux particules fines de 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

M.KONTEITE - J.PEYS/GETTY



INÉDIT

# TERRE : MODE D'EMPLOI

DÉCOUVREZ DES SOLUTIONS  
OPTIMISTES POUR L'AVENIR  
DE NOTRE PLANÈTE

**MERCREDI 6 JUILLET**

À 20H45

SUIVI DE  
ÉNERGIES RENOUVELABLES,  
LA 4<sup>ÈME</sup> RÉVOLUTION



## SCIENCE & VIE TV

la chaîne pour comprendre

@ScienceetvieTV  
[www.science-et-vie.tv](http://www.science-et-vie.tv)



DISPONIBLE SUR :



**QUI FAIT UN MICRO-AVC DOIT CONSULTER**

Paralysie, perte de la vision ou de la parole... Les signes de micro-accidents vasculaires cérébraux (AVC) disparaissent très vite. Et on ne consulte pas toujours un médecin. Or le risque de faire un AVC ultérieur va de 12 à 20%, mais il est divisé par 4 chez un patient pris en charge dès la première alerte. "NEJM", avril 2016

**A VÉLO, UN ITINÉRAIRE BIS MÉNAGE LES POUMONS**

Choisir un itinéraire où la circulation est moins dense permet aux cyclistes d'inhaler de 40 % à 100 % de moins de toxiques émis par les pots d'échappement, selon des mesures effectuées directement dans leur haleine. "Environ. Sci. Technol", mai 2016

**LES PLANTES MÉDICINALES NE SONT PAS SANS RISQUES**

Bien qu'utilisés depuis des siècles, les remèdes à base de plantes – rarement validés scientifiquement – peuvent présenter une toxicité qui passe un temps inaperçue. Par exemple, l'aristoloche provoque le cancer du rein chez 5 % des utilisateurs. "EMBO Reports", avril 2016

**LE LIEN ENTRE PORTABLE ET CANCER DU CERVEAU N'EST TOUJOURS PAS AVÉRÉ**

Vingt-cinq ans d'exposition aux ondes des téléphones portables n'ont pas fait augmenter le nombre de cancers du cerveau en Australie, selon une étude. En effet, alors que le pourcentage d'utilisateurs de portables est passé de 0 à 94% entre 1987 et 2014, le risque de cancer du cerveau est resté stable chez les 20-69 ans. Il a toutefois augmenté chez les plus de 70 ans, mais, selon les chercheurs, parce que les méthodes de diagnostic se sont améliorées (d'autant que cette augmentation précède l'apparition des portables). "Cancer Epidemio.", avril 2016

**LES VITRES DES VOITURES PROTÈGENT MAL DES UV**

L'incidence des cancers de la peau et de la cataracte est plus élevée du côté gauche du corps dans les pays où l'on roule à droite; or, c'est l'inverse dans les pays où la conduite à gauche est la règle. L'action directe du soleil sur les automobilistes qui circulent la fenêtre ouverte n'est pas la seule raison invoquée. Même teintées, les fenêtres des voitures protègent mal les automobilistes des rayons UV du soleil. Alors que le pare-brise filtre en moyenne 96% des UV-A, les fenêtres latérales ne sont pas équipées de filtres ultraviolets en quantité suffisante et laissent passer jusqu'à 45% des rayons nocifs! Une voiture sur sept seulement offre une protection efficace (plus de 90% des UV-A filtrés). Ces résultats sont issus de l'analyse d'une trentaine de modèles américains, allemands et japonais. "JAMA Ophthalmol.", mai 2016



SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES - APELÓGA/PLAINPICTURE



## L'ENTRAÎNEMENT "EXPRESS" EST BON POUR LE CŒUR

Pratiquer 10 minutes d'effort intense par semaine serait-il aussi bénéfique, sur le plan cardio-respiratoire, que trois séances hebdomadaires de 45 minutes de jogging à allure modérée? Surprenant! Pourtant, c'est ce que confirment des spécialistes canadiens de physiologie, après avoir suivi neuf trentenaires pendant trois mois d'un entraînement "fractionné" à haute intensité. Selon les chercheurs, l'exercice qui consiste en 2 minutes d'échauffement, suivi de trois séries de 20 secondes "à fond", entrecoupées de 2 minutes d'effort léger, améliorerait considérablement nos performances cardio-respiratoires. Une cadence à respecter, car l'arrêt brutal de l'effort peut favoriser des troubles du rythme cardiaque, notamment chez les personnes plus âgées ou atteintes de pathologie. "PlosOne", avril 2016

### ENFANTS HYPERACTIFS: ATTENTION À L'HYGIÈNE DE VIE

Limiter la télé et les boissons sucrées, pratiquer une activité physique tous les jours, dormir au moins 9 heures et boire 1,5 litre d'eau: autant de bonnes habitudes que les enfants diagnostiqués ADHD devraient adopter pour améliorer leur état. "J. Atten. Disord.", mai 2016

### LA LUMIÈRE BLEUE PEUT AGIR SUR LE MÉTABOLISME

Selon une étude américaine, la lumière bleue au réveil ou le soir augmente la résistance à l'insuline, favorisant la création de graisse. Les chercheurs en ont déduit que la lumière peut être utilisée pour manipuler certaines fonctions métaboliques. "PlosOne", mai 2016

### IL FAUT CINQ ANS POUR SE REMETTRE DES TROIS-HUIT

Les individus soumis aux trois-huit réussissent moins bien les tests de mémoire ou de logique, selon une étude suédoise. En cause: un sommeil de mauvaise qualité. Heureusement, cette différence disparaît après cinq ans d'un nouveau rythme! "Neurobio. of aging", mai 2016

## EN AVION, LA COLÈRE SE NOURRIT DES INÉGALITÉS

Les raisons de se mettre en colère en avion sont nombreuses: retard, inconfort, promiscuité, service... Selon une étude canadienne, les comportements agressifs des passagers de la classe économique sont quatre fois plus fréquents lorsqu'ils subissent des inégalités sociales et se sentent confrontés à l'infériorité de leur rang dans ce microcosme de la société qu'est l'avion. Ainsi, les cas de "rage de l'air" surviennent en moyenne 1,58 fois sur 1 000 vols en classe économique, contre 0,31 fois en 1<sup>re</sup> classe. Les trois quarts des cas impliquent des hommes, et l'ébriété des passagers fautifs est en cause dans les deux tiers des incidents. "Pnas", mai 2016



# L'e-bracelet qui change de motifs

Tago Arc, de la société américaine LIBER8, est un bracelet dont on peut changer le motif à l'infini. Pour cela, il est recouvert d'un écran à encre électronique qui permet de représenter le dessin que l'on souhaite. Il suffit de le choisir sur son smartphone parmi des milliers grâce à l'application dédiée. On peut aussi prendre une photo et la télécharger pour personnaliser le motif. L'encre ne consomme aucune énergie pour afficher

le dessin. En revanche, le modifier en nécessite: cette énergie est alors produite par le champ électromagnétique de votre smartphone. Ce dernier induit en effet un courant électrique lorsque vous l'approchez du bracelet pour communiquer avec lui via la technologie sans fil NFC, utilisable à courte distance (quelques centimètres). Tago Arc n'a ainsi pas besoin d'être rechargé. **S.F.**

Prix : env. 260 €  
Rens. : [www.liber8tech.com](http://www.liber8tech.com)

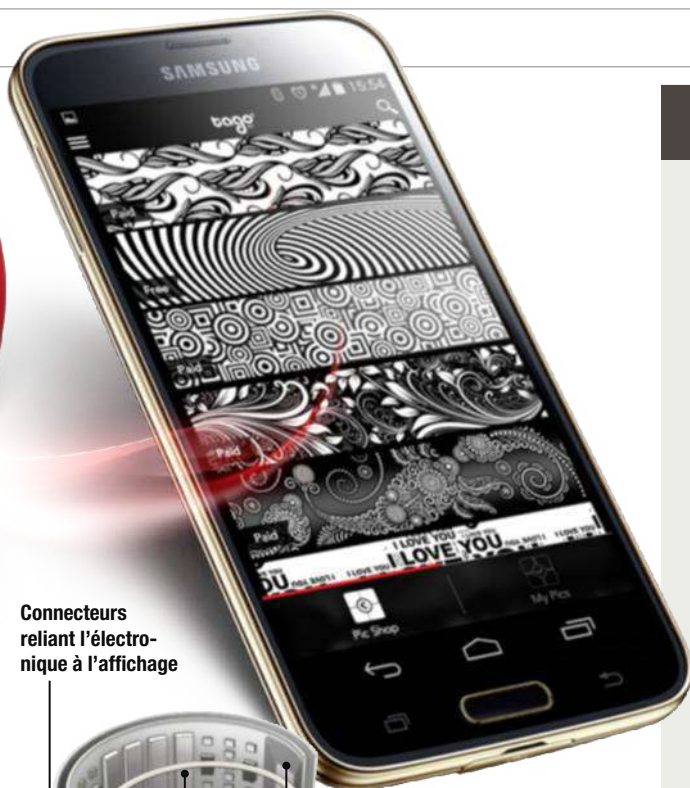


## Une lampe, oui, mais elle s'éclaire à la bougie

Pas de pile, ni câble électrique... Voici une lampe d'ambiance qui fonctionne grâce à une simple bougie chauffe-plats, sans alimentation extérieure. Comment ça marche ? Lumir C, c'est son nom, utilise l'effet Seebeck, qui permet la conversion de la chaleur en électricité à l'aide de deux semi-conducteurs à base de tellure de bismuth ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), reliés par deux jonctions. Le principe: la chaleur de la flamme grimpe dans un dissipateur. Une différence de température se produit alors entre les deux jonctions, ce qui crée un courant et allume la LED située en haut de la lampe. Le tout en seulement 2 à 3 minutes. L'autonomie annoncée est de 4 à 5 heures avec une seule bougie et fournit un éclairage de 60 lumens. **E.T.-A.**

Prix : env. 70 €. Rens. : [www.lumirlight.com](http://www.lumirlight.com)

< C'est la différence de température engendrée par la bougie qui produit de l'électricité pour allumer la LED de la lampe.



Connecteurs  
reliant l'électro-  
nique à l'affichage



Ecran  
à encre  
électronique

Surface  
au contact  
du poignet

Antenne pour la  
communication NFC

Condensateurs pour  
stocker l'énergie

## LE COIN DES PROTOTYPES

### La fourchette au goût salé... pour moins saler

*Science & Vie* vous le rappelait il y a quelques mois (n°1181): nous consommons trop de sel, directement ou dans les produits industriels, ce qui peut nuire à notre santé. Et si une solution consistait à créer l'illusion du goût salé dans nos aliments? Des chercheurs du Rekimoto Lab, à l'université de Tokyo, travaillent sur un prototype de fourchette capable de réaliser cet effet insolite. Sur pression d'un bouton présent sur l'ustensile, l'utilisateur déclenche une légère décharge électrique, qui aura pour but de stimuler les papilles à l'instant où la fourchette entre en contact avec la bouche. Ainsi, elle pourra provoquer une sensation de salinité dans un plat qui ne contient pas le moindre milligramme de sel! **S.D.**



Rens.:  
<https://lab.rekimoto.org/>

## Electriques, ces rollers à chenilles roulent sur tous les terrains

De loin, on dirait des rollers classiques... Mais ceux-là, inventés par le Polonais Jacek Skopinski, sont en fait propulsés par deux moteurs électriques de 350 W à l'arrière et, grâce à la chenille qui entoure leurs roues, ils sont capables de rouler jusqu'à 15 km/h sur tous les terrains: chemins de terre, graviers... Un (gros) bémol toutefois: pour tenir

la distance (20 km d'autonomie), les rollers doivent rester reliés par un fil à une batterie Li-ion indépendante à transporter dans son sac à dos... **L.B.**

Prix: env. 1 300 €  
(fabrication à la demande et sur mesure)  
Rens.:  
[www.ev4.pl](http://www.ev4.pl)



# Un vrai sous-marin de poche pour des records de plongée

Parmi les leaders dans le domaine des sous-marins de tourisme, la société néerlandaise U-Boat Worx repousse les limites de l'exploration des fonds marins. Avec sa série Cruise Sub, elle propose d'embarquer de 5 à 7 personnes jusqu'à 1 140 m de profondeur. Un record ! Ses gros cylindres (4,81 m de longueur, 3,44 m de largeur, 2,55 m de hauteur et 11 500 kg

pour le Cruise Sub 7) sont dotés de deux larges sphères en acrylique à chaque extrémité, reliées par une coque en acier à hublots destinée au pilote. Le sous-marin offre ainsi une vision panoramique sur la faune et la flore aquatiques aux voyageurs confortablement installés sur des sièges en cuir pivotants. Les six hélices, manœuvrées par un pilote ayant reçu au préalable

une formation de deux semaines, permettent une maniabilité optimale, quelles que soient les directions, à une vitesse maximale de 2,5 nœuds (4,6 km/h). Une batterie lithium-ion fournit une autonomie de plongée de 12 heures. Loin d'être économique, la balade s'avère écologique !

A.P.

Prix : à partir de 2530 000 €  
Rens. : [www.uboworx.com](http://www.uboworx.com)



## Ce scooter électrique se plie comme un vélo

Ce drôle d'engin de 18 kg, baptisé Rollyscoot, est aussi pratique et compact (120 x 61 x 98 cm) qu'un vélo électrique pliant, et

confortable comme un scooter. Nul besoin en effet de pédaler, son moteur *brushless* (électrique synchrone à aimants permanents) de 250 W, logé dans sa roue arrière, le propulse jusqu'à 25 km/h (le maximum autorisé pour les vélos électriques), tandis que sa batterie lithium, intégrée dans le cadre, lui assure 45 km d'autonomie. Sa selle et sa roue arrière se rabattent pour le transporter plus facilement. L.B.

Prix : env. 2 000 €  
Rens. : [www.rollystore.fr](http://www.rollystore.fr)



## Des runnings qui font office de coach

Une mauvaise position peut vite anéantir les bénéfices d'un footing. Face à ce constat, Altra, spécialiste de la course au naturel, et iFit, leader du coaching digital, ont conçu ensemble l'Altra iQ, une chaussure de running connectée. Temps et zones de contact au sol, force d'impact et différence pied droit/pied gauche... Chaque semelle, dotée de capteurs, analyse la biomécanique de la course en temps réel pour la communiquer en Bluetooth à une application. Reste à suivre les conseils formulés via l'écran de son smartphone ou sur sa montre GPS iFit Ridge. A.P.

Prix : env. 200 €  
Rens. : [www.altrarunning.fr](http://www.altrarunning.fr)





◀ Les passagers prennent place dans les deux "bulles" pour un spectacle sous-marin panoramique jusqu'à -1 140 m.

## La poussette la plus compacte au monde

C'est le Guinness World Records qui le dit: Pockit, commercialisée par la société américaine Goodbaby, est la poussette la plus petite au monde lorsqu'elle est repliée. Elle mesure alors 35 cm de hauteur, 30 cm de largeur et 18 cm de profondeur. Elle est de surcroît très légère: 4,3 kg.

La prouesse est d'autant plus remarquable que plier cette poussette s'effectue en quelques secondes seulement. Après avoir appuyé sur deux

boutons situés en haut des poignées pour déverrouiller un mécanisme de sécurité, on pousse ces dernières vers le bas pour compacter la poussette verticalement de manière télescopique. Puis on la plie le long de deux charnières, comme l'on fermerait un meuble avec deux portes. Pockit

> 35x30x18 cm : on peut l'emporter sous le bras !

peut transporter un enfant pesant jusqu'à 25 kg. Elle comporte également un panier, situé sous le siège, qui peut contenir quelques courses. **S.F.**

Prix : env. 220 €  
Rens. : <http://gbchildusa.com/products/pockit/>



# Toutes les étoiles visibles appartiennent-elles à notre galaxie ?

J.-C. Coulet, Saint-André-des-Alpes (04)

“Non, certaines galaxies très proches de nous sont aussi visibles à l’œil nu”, assure Marie-Christine Angonin, professeure au sein du laboratoire SYRTE de l’Observatoire de Paris. C’est le cas de la galaxie Andromède, située à 2,55 millions d’années-lumière de notre Soleil, qui apparaît dans le ciel de l’hémisphère Nord. Ainsi que des Nuages de Magellan, deux galaxies naines qui, au sud, gravitent autour de notre Voie lactée : le grand nuage est distant de 157 000 années-lumière, le petit d’environ 197 000.

Tous les autres scintillements visibles appar-

tiennent en revanche à notre galaxie. Il peut s’agir de planètes, comme Vénus, qui reflètent la lumière du Soleil, de comètes passant près de nous, et surtout d’étoiles, la plus proche étant Proxima du Centaure, située à un peu plus de 4 années-lumière.

“Mais le ciel que nous contemplons n’est qu’une infime partie de la Voie lactée”, précise Marie-Christine Angonin. On estime à environ 200 milliards le nombre d’étoiles dans notre galaxie, et seulement 10 000 sont observables les nuits de conditions optimales, c’est-à-dire sans pollution lumineuse, tous hémisphères compris !”

Pourquoi voit-on finalement si peu de choses du ciel ? “Si l’on s’éloigne d’une lampe, on finit par ne plus la voir”, répond Marie-Christine Angonin. Notre œil a besoin d’un flux de photons d’une certaine intensité pour capter une lumière. Les Nuages de Magellan et Andromède ont beau être bien plus éloignés que certaines étoiles non observables, ils sont tellement concentrés en astres que leur lumière nous parvient. Cette lumière n’est autre que celle de leurs milliards d’étoiles. Et c’est pour cela que ces structures nous apparaissent plus étalées et plus floues que le reste des objets stellaires visibles.”

T.C.-F.



## Pourquoi une cuillère en métal semble plus froide qu’une cuillère en bois ?

Question d’A. Plançon, Annecy (74)

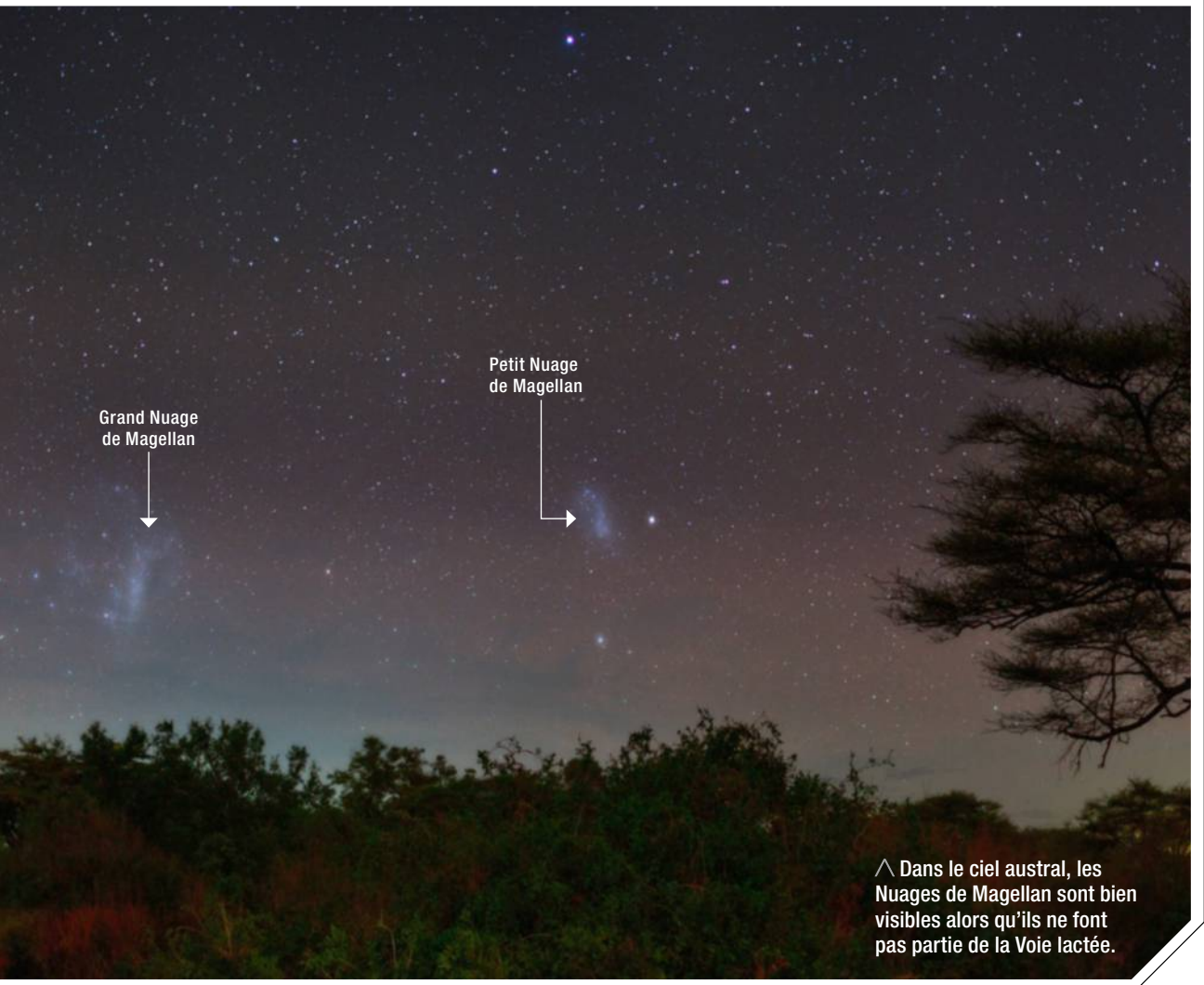
En tout cas, ce n’est pas parce qu’elle est plus froide : soumis au même environnement, deux objets incapables de produire leur propre chaleur auront toujours une température identique, même s’ils sont de nature différente. La raison est simplement que le métal est un bien meilleur transporteur de chaleur que le bois. Résultat : “Quand ma peau, qui est environ à 37°C, touche une cuil-

lère en métal à 20°C, un transfert de chaleur s’opère vers cet objet”, développe Edouard Kierlik, professeur de physique à l’université Paris 6 et auteur de *La Physique surprise*. La main se refroidit alors rapidement, ce qui donne cette sensation de froid que le contact avec la cuillère en bois, à laquelle nous ne transférons quasiment pas de chaleur, ne provoque pas.

F.C.







Grand Nuage de Magellan

Petit Nuage de Magellan

^ Dans le ciel austral, les Nuages de Magellan sont bien visibles alors qu'ils ne font pas partie de la Voie lactée.

## Comment peut-on être à la fois chauve et barbu ?

Question d'E. Maitre, Chaville (92)

Barbe et chevelure sont gouvernées par les mêmes androgènes, les hormones mâles, telles que la testostérone. Sauf que, au niveau du sommet du cuir chevelu et des golfes frontaux, s'exerce très fortement l'action d'une enzyme, qui transforme la testostérone en dihydrotestostérone (DHT). Or, *"la DHT accélère le cycle de fabrication des cheveux en raccourcissant leur durée de vie"*, décrit Philippe Assouly, dermatologue. Conséquence : les follicules s'épuisent, leurs capacités de renouvellement s'amenuisent... et les tempes se dégarnissent.

N.P.

> Sur le haut de la tête, une enzyme raccourcit la durée de vie des cheveux.



E. SUBES - SCIENCE PHOTO LIBRARY/COSMOS - A. DAGAN

# La montée des mers va-t-elle obliger à recalculer les altitudes ?

Question de J.-L. Guyot, Jasseron (01)

Non. Les altitudes sont certes calculées par rapport au niveau de la mer, et la montée des eaux provoquée par le changement climatique devrait les rendre obsolètes. Pour autant, elles ne seront probablement pas réévaluées, car leur valeur absolue n'a aucune importance pratique. D'ailleurs, en France, l'altitude nationale est toujours calculée à partir du niveau moyen de la mer mesuré à Marseille entre 1885 et 1896, qui était pourtant 15 cm plus bas qu'aujourd'hui. *“Ce qui compte,*

*pour l'aménagement du territoire, par exemple, c'est la différence d'altitude entre deux points”*, explique Olivier Jamet, ingénieur à l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). Or, au niveau régional ou à l'échelle de petits pays comme la France, la mer devrait s'élever à peu près partout de la même manière, et donc les altitudes rester comparables entre elles.

Au niveau mondial, en revanche, les variations d'altitude ne devraient pas être

partout identiques. En effet, *“la distribution de la chaleur dans l'océan est inhomogène”*, rappelle Benoît Meyssignac, du Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (Legos) de Toulouse. La dilatation de la colonne d'eau, qui participe à l'élévation du niveau des mers, sera plus ou moins importante selon l'intensité du réchauffement océanique local.

## PAS D'HOMOGENÉITÉ

Ainsi, dans les zones où le réchauffement est plus marqué, les altitudes devraient baisser, en moyenne, plus fortement que celles où il

est moins intense. C'est déjà ce qui est calculé dans certaines zones de l'ouest du Pacifique tropical, où l'expansion thermique des eaux, amplifiée par l'intensification des alizés, provoque une augmentation du niveau de la mer trois à quatre fois plus rapide que la moyenne mondiale.

Un deuxième phénomène contribue à décaler les mesures d'altitude au niveau du globe: la perturbation des vents et des courants marins, qui répartissent inégalement les masses d'eau. Des oscillations climatiques à grande échelle entraînent déjà une montée hétérogène

## Les arbres meurent-ils de vieillesse ?

Question de D. Calmel, pour l'équipe du journal Hector, réalisé en détention dans le centre pénitentiaire de Villeneuve-lès-Maguelone (34)

Il est vrai que certains arbres semblent immortels. Tel le pin Bristlecone, découvert en 2012 en Californie, qui affiche plus de 5 000 ans ! Les arbres ont effectivement une particularité: ils peuvent croître indéfiniment. Cela grâce à leurs cellules méristématiques, localisées dans les bourgeons ou les extrémités de leurs racines, qui sont “rajeunies” périodiquement. Ainsi, contrairement aux cellules animales, dont l'ADN s'encombre au fil du

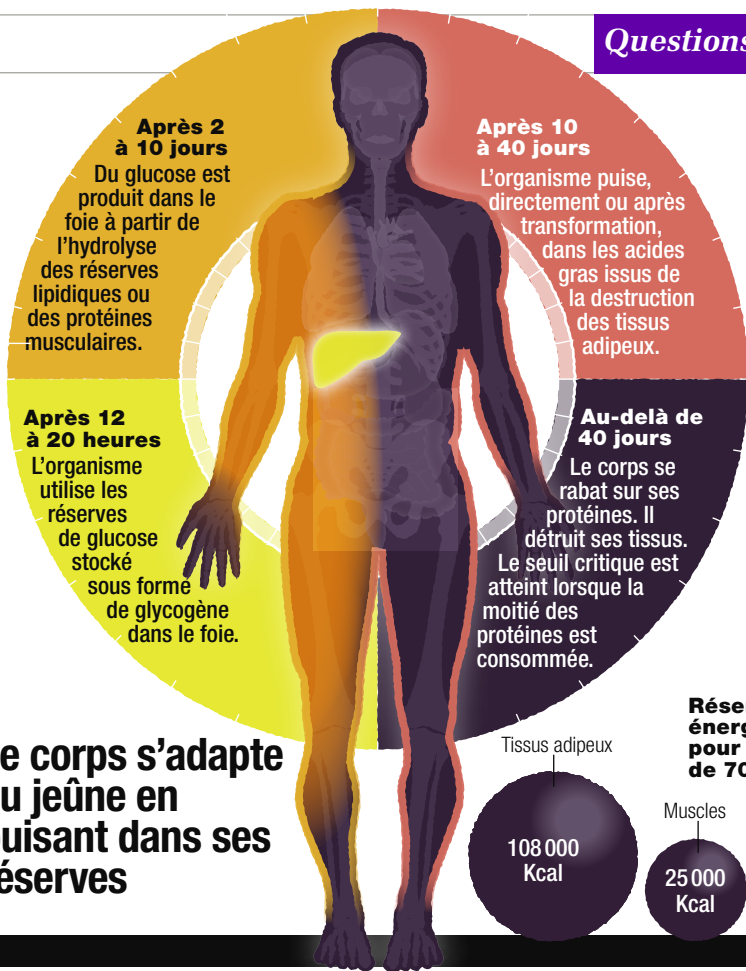
temps d'éléments chimiques gênant son fonctionnement, ces cellules effacent, chaque printemps, leurs marques de vieillissement moléculaire. Cependant, les pousses déjà formées, elles, vieillissent bien. Par conséquent, *“les capacités des arbres à cicatriser et à se défendre contre les pathogènes diminuent avec le temps. Chaque année qui passe permet donc à des microbes ou à de l'eau de s'engouffrer plus facilement au*

*niveau d'une blessure – due par exemple à une branche qui casse – et d'induire le pourrissement puis la disparition du bois dans le tronc, expose Catherine Lenne, professeure de biologie végétale à l'université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand. Même dans des conditions idéales, les arbres finiraient de toute façon par céder sous leur propre poids”*. Le pin Bristlecone succombera donc aussi, un jour ou l'autre, aux ravages du temps. **K.B.**



des mers. Par exemple, dans l'Atlantique et à l'est du Pacifique sud, les variations des vents et des courants participent respectivement à une montée et une baisse du niveau de l'eau.

Au cours du XXI<sup>e</sup> s., la mer pourrait donc s'élever de quelques décimètres de plus dans certaines régions que dans d'autres, faussant légèrement la comparaison des altitudes. Mais de telles différences, à une échelle mondiale, n'ont pas de conséquence pratique. Malgré la hausse du niveau des mers, l'Everest restera "officiellement" à 8848 m. **M.-A.P. ET K.B.**



## Le corps s'adapte au jeûne en puisant dans ses réserves

# Combien de temps peut-on tenir sans manger ?

Question de D. Voulet, Paris 5<sup>e</sup>

*“Un homme de 70 kg, s’il continue à s’hydrater, peut tenir plusieurs semaines, voire quelques mois, répond Monique Romon, présidente de la Société française de nutrition (CHRU de Lille). Par exemple, en 1981, dix prisonniers politiques irlandais, grévistes de la faim, ont tenu entre 45 et 66 jours.”* Cette résistance est liée à plusieurs mécanismes qui

permettent de puiser petit à petit dans les réserves. Car les protéines, glucides et graisses que nous apporte l'alimentation, indispensables au fonctionnement de l'organisme, peuvent être stockés dans les tissus adipeux, le foie et les muscles.

En cas de jeûne, le corps s'attaque d'abord aux stocks de sucres du foie et des muscles ; puis aux graisses

des tissus adipeux ; et en dernier lieu aux protéines des muscles (voir infographie). Et ce n'est que lorsque 50 % des protéines corporelles ont été consommées que la mort devient assurée : le cœur ou le cerveau finissent par lâcher. Bien sûr, le temps de survie varie selon le niveau initial de ces réserves, mais aussi de l'état de santé et du patrimoine génétique. **K.B.**



GETTY IMAGES/FELICKR RF - A. DAGAN

# Pourquoi n'aime-t-on pas certains aliments ?

Question de V. Chauvin, La Ferté-Saint-Aubin (45)

Endives cuites à l'eau, rhu-barbe sans sucre... Les aliments aux saveurs amères ou acides sont en effet les moins appréciés. La faute à l'évolution ! "Ces saveurs étant souvent présentes dans des substances toxiques (pour l'amertume) ou avariées (pour l'acide), la pression de sélection aurait conduit notre espèce à les rejeter", explique Sophie Nicklaus, chercheuse au Centre des sciences du goût et de l'alimentation, à Dijon.

Nos autres dégoûts, nettement moins universels, s'expliqueraient surtout par l'éducation. "L'essentiel de nos préférences et

de nos rejets alimentaires se déterminent au moment de la diversification alimentaire, entre l'âge de 4 mois et 3 ans. Si, lors de cette étape, l'enfant ne goûte pas à certains aliments, il y a de grandes chances qu'il ne les apprécie pas par la suite", affirme Sophie Nicklaus. Durant cette période charnière se produiraient en effet des adaptations neuro-

physiologiques au niveau des récepteurs olfactifs et gustatifs, ainsi que des centres nerveux impliqués dans la prise alimentaire et la mémorisation. **K.B.**



## D'où vient le zozotement ?

Question de T. Laborde, Paris 20<sup>e</sup>

Les origines du zozotement – appelé aussi zézaïement – sont diverses. Et ce d'autant plus que ce terme recouvre plusieurs troubles différents. En effet, si le zozotement correspond, au sens propre, à l'impossibilité de prononcer le son "z", il est aussi couramment employé pour qualifier le sigmatisme, soit la mauvaise prononciation du "s". Dans les

deux cas, le trouble est dû à un positionnement altéré de la langue, qui vient buter sur les dents.

Le zozotement survient principalement chez les enfants en bas âge, qui n'ont pas encore appris soit à prononcer, soit à distinguer les sons "s" et "z". Mais "l'enfant peut aussi zozoter par imitation, quand l'un de ses parents zozote", note

Isabelle Eyoum, orthophoniste. Des problèmes orthodontiques, comme une mâchoire inférieure placée trop en avant ou un frein (le muscle relié à la langue) trop court, peuvent aussi être à l'origine de tels troubles de la prononciation. Enfin, le zozotement peut survenir chez les personnes âgées à cause de pathologies neurologiques provoquant une perte de tonus des muscles de la bouche. Seul ce dernier cas de zozotement est irréversible, les autres pouvant la plupart du temps être résolus par un traitement orthophonique. **FC.**

**GAGNEZ UN  
ABONNEMENT  
D'UN AN À**

**SCIENCE & VIE**  
Cette rubrique est la  
vôtre, écrivez-nous !

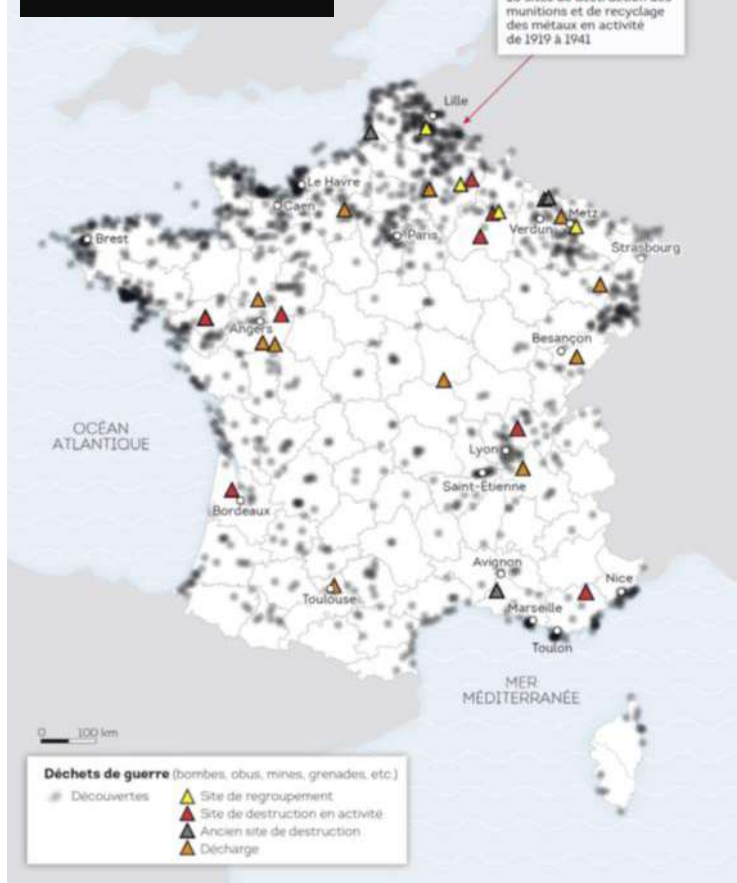
Nous ne pourrions répondre à tous, mais les auteurs des questions sélectionnées se verront offrir un abonnement d'un an à la version numérique de *Science & Vie* (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Envoyez vos questions, en indiquant clairement votre adresse postale, à :  
sev.gr@mondadori.fr  
ou bien par courrier à :

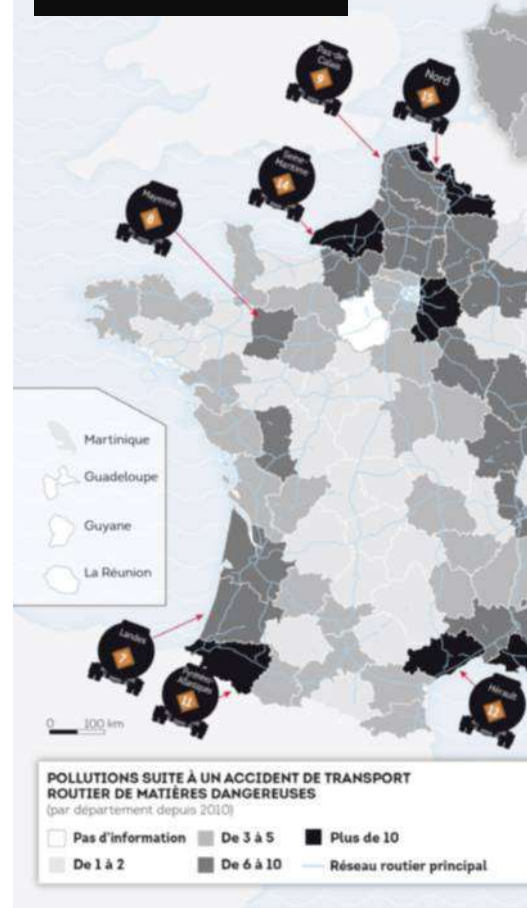
SCIENCE & VIE  
QUESTIONS/RÉPONSES  
8, rue François-Orly  
92543 MONTROUGE CEDEX



## LÀ OÙ IL VAUT MIEUX ÉVITER DE PIQUE-NIQUER...



## ... DE PRENDRE LA ROUTE...



Tour de France des sites pollués

# L'anti-guide touristique

La France plus beau pays du monde? Peut-être, mais tout n'est pas forcément beau à voir – ni à sentir, boire, manger ou respirer... Deux ouvrages parus récemment permettent de se constituer un "anti-guide touristique" de l'Hexagone, pour ne pas étaler n'importe où sa nappe de pique-nique ou sa serviette de plage.

Elaboré par l'association environnementale Robin des Bois, l'*Atlas de la France toxique* offre un panorama forcément militant, mais éclairé et approfondi, des pollutions qui souillent notre territoire.

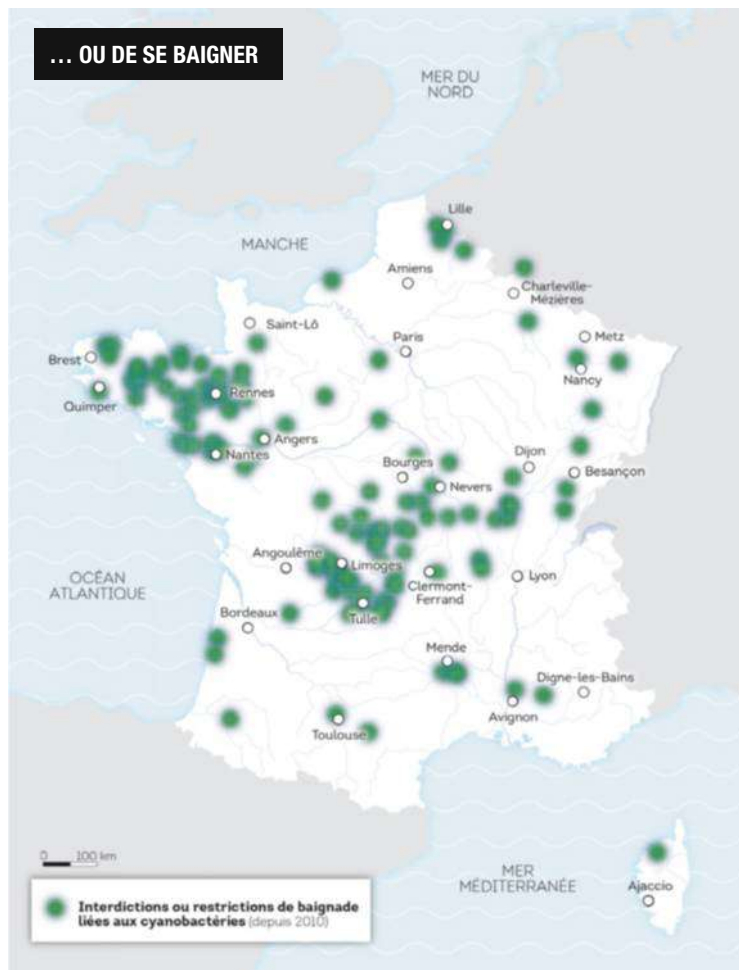
Villes, campagnes, montagnes, littoraux, rivières et lacs: aucun milieu n'est vraiment épargné. L'inventaire s'étend des sources les

plus répandues (pesticides, herbicides, PCB, particules fines, etc.) aux incidents les plus ponctuels, voire anecdotiques... Quoique: on est toujours ravi d'apprendre, cartes à l'appui (voir ci-dessus), l'emplacement des décharges de munitions regorgeant de perturbateurs endocriniens. Ou de compter les containers de matières dangereuses

échoués sur les plages. Ou encore les crashes d'avion dont l'incendie a pu contaminer les sols.

## ALGUES VERTES, DÉCHETS RADIOACTIFS...

Dans ce sombre tour de France, il ne faudrait pas oublier les fameuses boues rouges déversées dans les calanques de Marseille, les célèbres rejets radioactifs



de l'usine de la Hague, les incontournables algues vertes de la baie de Saint-Brieuc et autres retombées de Tchernobyl traités dans un registre moins solennel par l'ouvrage *Touriste, regarde où tu poses tes tongs*. Un guide très inspiré, aux titres de chapitres percutants – “La baie de Morlaix et ses coquillages pétrifiants”.

Les plus inquiets d'entre nous pourront également épulcher les bases de données gouvernementales – comme Basol, qui recense



► **Atlas de la France toxique : tous les risques près de chez vous**  
 ► Association Robin des Bois  
 ► Ed. Arthaud  
 ► 164 pages, 18 euros

A lire aussi :  
 ► **Touriste, regarde où tu poses tes tongs**

► Nicolas Santolaria  
 ► Allary Editions  
 ► 240 pages, 17,90 euros

les sols pollués – et même plonger dans la littérature scientifique, où l'on traite parfois des pollutions persistantes issues d'activités médiévales.

Au risque, peut-être, de sombrer dans la paranoïa...

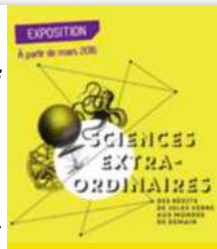
Rappelons tout de même que 96 % de nos eaux de baignade sont conformes à la réglementation européenne, et qu'il fait globalement bon séjourner en France. Allez, bonnes vacances...  
**V.Nouyrigat**

EXPOSITION

► **Sciences extraordinaires : des récits de Jules Verne aux mondes de demain**

► Palais de l'Univers et des sciences de Cappelleville-la-Grande (59)

► Jusqu'au 30/06/17

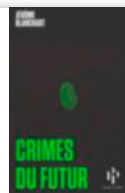


“La science nous réserve encore quelques miracles étonnants, qui modifieront complètement les conditions d'existence sur cette Terre.” Cette citation de Jules Verne résume bien la nouvelle exposition proposée par ce Palais de l'Univers et des sciences. Le long d'un parcours évolutif et modulable, le visiteur se projette au XVIII<sup>e</sup> siècle, une époque sans électricité, où le seul moyen de communiquer à distance était le papier. Et s'aperçoit que la vision futuriste de l'auteur (satellites artificiels, scaphandres autonomes, géothermie, hélicoptères...) était loin de la fiction. **M.-A.P.**

LIVRE

► **Crimes du futur**

► Jérôme Blanchart  
 ► Ed. Parallèle  
 ► 180 pages, 16 euros



Braquages de banques en ligne, narco-drones, armes imprimées en 3D... Jérôme Blanchart, journaliste chez *S&V Junior*, décrit avec précision le visage des malfaiteurs et des terroristes de demain dans cet essai aux sources rigoureuses et aux cas d'étude originaux... mais pas seulement ! Car ce livre se parcourt surtout comme un roman policier, où l'inventivité humaine pour le crime trouve un écho inédit dans l'exubérante floraison technologique mise à sa disposition. De quoi frissonner, mais aussi s'interroger sur notre avenir, pour le meilleur et pour le pire. **C.T.**

20 juillet 1976

# Viking se pose sur Mars

Les étoiles scintillent dans le ciel nocturne de Californie. Les ingénieurs du Jet Propulsion Laboratory (JPL), à Pasadena, sont nombreux à ne pas dormir. Ce 20 juillet 1976 est pour eux le point culminant de huit années de travail acharné : à 348 millions de kilomètres, la sonde *Viking 1* s'appête à poser ses pieds métalliques sur le sol d'une autre planète, Mars. Une grande première.

"*Séparation établie*", annonce à 1h52 le canal audio du JPL. Dix-huit minutes plus tôt (le temps que le signal radio se propage jusqu'à la Terre), la sonde s'est en effet séparée comme prévu du module en orbite autour de Mars. Les huit moteurs-fusées s'enclenchent en douceur. "*Jusqu'à présent, tout ce qui était*

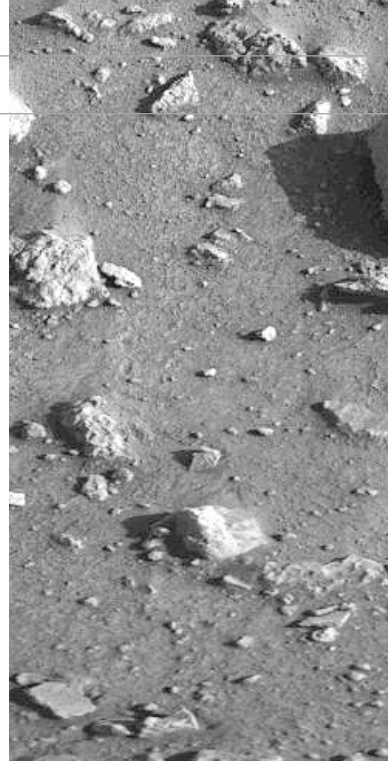
*supposé arriver... est arrivé exactement comme prévu. Nous approchons rapidement de la surface de Mars*", annonce, à 4 h, Albert Hibbs, vétéran des missions du JPL.

## UN VIEUX RÊVE...

A 100 km d'altitude, la sonde file à 17 000 km/h, avant d'être freinée par l'atmosphère. A 22 km d'altitude, sa vitesse est encore de 3 500 km/h. Puis son parachute se déploie pour renforcer le freinage. Et à 1 400 m du sol, des moteurs-fusées donnent l'impulsion finale pour éviter le crash. Une voix hurle : "*Touché, nous avons touché!*" Au vrai, cela fait 18 min que *Viking*, à 4h 53min et 14 s exactement, s'est posée sur Mars. Techniquement, la mission est déjà un succès.

Atterrir sur Mars est un vieux rêve. En 1962, cinq ans après *Sputnik*, le premier satellite, les Soviétiques s'y sont employés avec *Mars 1*. Et ont échoué. Neuf ans plus tard, nouvel échec avec *Mars 2* et *Mars 3*. Puis ce seront *Mars 4*, *5*, *6* et *7*, envoyées en rafale en 1973, qui n'ont guère rencontré plus de succès. Découragés, les Soviétiques se focaliseront désormais sur Vénus.

L'Amérique aussi fait de Mars l'un de ses objectifs prioritaires. Pour ne pas laisser aux Soviétiques le monopole d'une planète, mais aussi, et surtout, parce que Mars est celle où la probabilité de trouver une vie extraterrestre est la plus forte dans notre système solaire. Dès 1964, la Nasa y envoie *Mariner 3* et *4*. La



première sonde est rapidement perdue. Mais la seconde survole l'hémisphère Sud, transmettant une vingtaine d'images qui révèlent un sol lunaire couvert de cratères. Une immense déception pour tous ceux qui, sans rêver de petits hommes verts, espéraient au moins découvrir des traces de vie.

Autre mauvaise surprise : Mars n'a quasiment plus

## SCIENCE & VIE en parlait déjà... PAR FIORENZA GRACCI

### 1964 UN "ASPIRATEUR" POUR DÉTECTER LA VIE MARTIENNE ?

Sur la sonde *Mariner 4*, les Américains envisagent d'embarquer le Multivator, une sorte d'"estafette biologique" : "*Cet appareil à détecter la vie fonctionne comme un aspirateur. [...] Si des organismes vivants sont présents dans les poussières aspirées, la réaction a lieu et un signal radio transmet cette information sur Terre.*" Mais si *Mariner* frôle bien Mars l'année suivante, elle n'y déposera aucun équipement. **S&V n° 557**

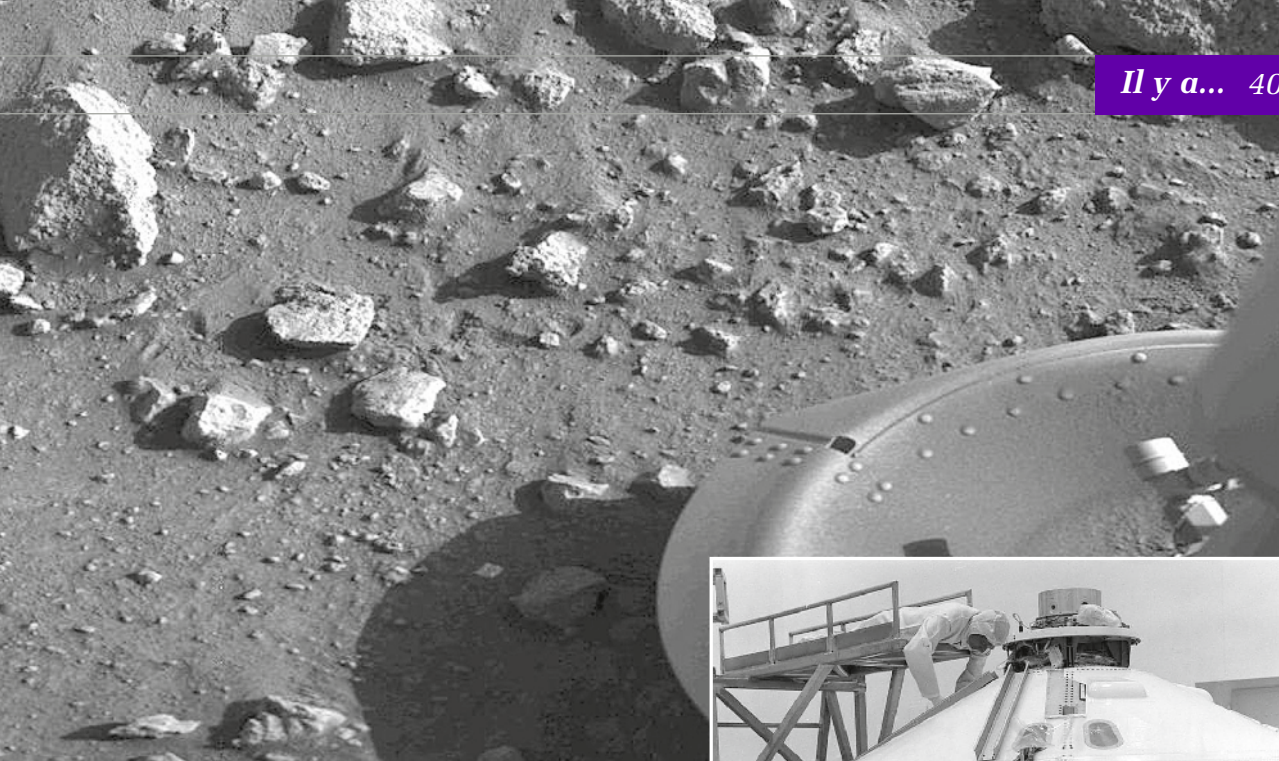


### 1976 VIKING RACONTÉE PAR CARL SAGAN

Le célèbre astrophysicien Carl Sagan raconte dans *S&V* cette "*mission coûteuse [...] qui a occupé des centaines de savants et d'ingénieurs*", dont lui-même, pendant dix ans : il s'agissait de "*prendre des photos, dresser des cartes, et maintes mesures. Les expériences biologiques constitueront incontestablement le 'clou' des deux missions.*" **S&V n° 705**







d'atmosphère. La pression y est trop faible pour permettre la présence d'eau liquide.

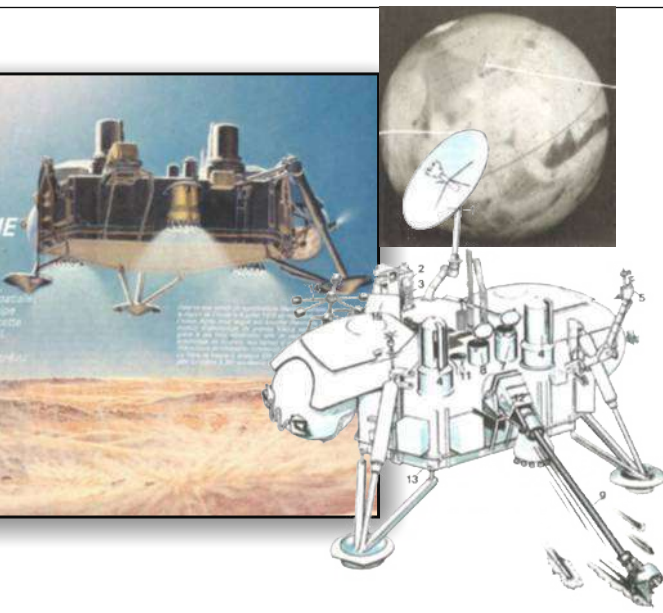
*Mariner 6 et 7*, en 1969, puis *Mariner 9*, placée en orbite en 1971, dressent un portrait plus précis. Mais le grain est grossier: la résolution reste supérieure à 1 km. Suffisant, néanmoins, pour révéler des volcans gigantesques et un immense canyon de 5000 km. Mars a

deux visages: l'hémisphère Sud est grêlé de cratères, celui du nord plus lisse.

*Mariner* ayant montré qu'une exploration robotisée était possible, l'idée germe alors d'un programme plus ambitieux: poser dès 1971 des instruments au sol. Mais l'absence apparente de vie refroidit les ardeurs du Congrès, englué au Vietnam dans une guerre →



△ La sonde *Viking 1* se pose le 20 juillet 1976 à 4 h 53 min et 14 s exactement. Seulement une minute plus tard, elle envoie la première photo du sol martien: une vue, très prosaïque, du pied de l'appareil!



## 1997 **ROCKY EST LE PREMIER ROVER À ROULER SUR MARS!**

En juillet, la sonde *Mars Pathfinder* se pose sur Mars et libère pour la première fois un robot mobile qui part explorer la planète rouge: Rocky Sojourner, 65 cm de longueur et 30 cm de hauteur. Ce n'est qu'«une aventure de quelques mètres», mais qui a «soulevé l'enthousiasme du monde [...]». Grâce à leurs panneaux solaires, [Pathfinder et Rocky] poursuivront leur exploration pendant plusieurs mois [...]. Outre des analyses géologiques, les scientifiques vont effectuer des mesures du climat, de la composition de l'atmosphère...» S&V n° 960 @

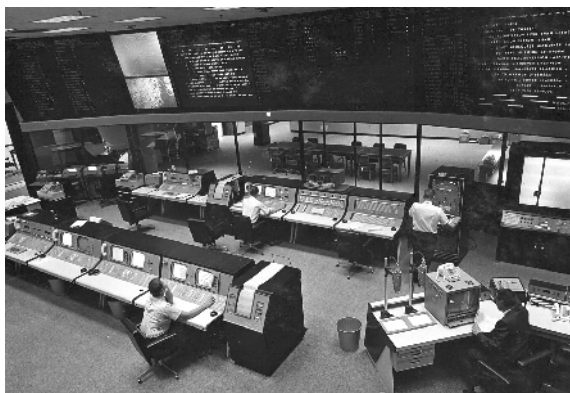


→ qui engloutit tous les deux mois l'équivalent du budget de la Nasa. En 1968, un programme allégé est lancé: *Viking* doit décoller en 1973, mais sera reporté de deux ans, faute de crédits.

Le 20 août, puis le 9 septembre 1975, *Viking 1* et 2 sont donc lancées par deux fusées *Titan III-Centaur*. Objectif: prouver que la vie existe bien sur Mars. Après une longue course dans l'espace, *Viking 1* se met en orbite le 19 juin 1976. *Viking 2* la rejoint le 7 août.

"Elles devaient trouver le bon site d'atterrissage, se souvient en juillet 2015 John Newcomb, ingénieur du programme, décédé cette année. *Le mieux que nous avions était une carte dont la résolution était de 1000 m.*" Choisir un site en quelques jours et y atterrir sans s'écraser était un défi immense: "Nous ne savions rien sur l'atmosphère martienne", rappelle-t-il.

L'atterrissage en douceur de *Viking 1*, le 20 juillet, sur le site de Chryse Planitia, est un exploit.



△ A Pasadena, dix-huit minutes après l'événement, le chroniqueur du JPL annonce: "Touché, nous avons touché!"

A peine posée, elle transmet une image du sol à ses pieds... au lieu du magnifique paysage martien que le grand public attendait!

### PLUS DE 6 ANS SUR MARS!

Le 3 septembre, *Viking 2* se pose à son tour sur Utopia Planitia, à plusieurs milliers de kilomètres. Mission: prélever des échantillons de sol à l'aide d'un bras manipulateur et les introduire dans un four pour réaliser un bouillon de culture. L'espoir est de détecter un comportement chimique trahissant une activité biologique.

Mais le sol, très oxydant, se révèle hostile à la vie.

Techniquement, la mission est allée au-delà de toutes les espérances: grâce à sa source radioactive d'énergie, *Viking 1*, prévue pour opérer quatre-vingt-dix jours, fonctionnera pendant six ans et demi, jusqu'au 13 novembre 1982. Et son orbiteur ne rend l'âme que le 17 août 1980, deux ans après celui de *Viking 2*, qui cesse d'émettre le 11 avril 1980.

"Ce que *Viking* a accompli n'a jamais été renouvelé sur Mars: quatre vaisseaux

opérationnels en même temps pendant plusieurs années", relève Joel Levine, un scientifique de la mission. La moisson de données est immense, avec en particulier des mesures atmosphériques permettant de reconstruire son profil vertical. Elle a fourni l'essentiel des images dont on a disposé pendant plus de vingt ans: plus de 50 000 clichés d'une résolution allant jusqu'à 7 m.

Il faudra attendre quinze ans pour que la Nasa envoie une autre sonde, *Mars Observer*, perdue en août 1993. *Pathfinder*, en 1996, a plus de chance. Le péripète de son petit rover Sojourner sera suivi par des millions d'internautes. Cet engouement, qui démontre l'incomparable fascination que Mars continue d'exercer, ouvre une nouvelle ère d'exploration robotisée, dans laquelle l'Europe entend prendre sa place. Ainsi, le 14 mars 2016, l'ESA envoyait *ExoMars*. Et le premier rover européen Pas- teur devrait rouler sur Mars en janvier 2019. **E. Monnier**

NASA/JPL

## SCIENCE & VIE en parlait encore

### 2012 **CURIOSITY, LA SONDE LABORATOIRE**

"Avec sa sonde *Curiosity*, la Nasa a sorti le grand jeu pour – enfin! – savoir s'il y a de la vie sur Mars. [...] C'est un véritable laboratoire biologique ambulant, unique en son genre, que le

26 novembre dernier, l'Agence spatiale américaine a propulsé en direction de la planète rouge." Le 6 août, "son atterrissage sur le sol martien marquera le début de l'ultime épisode d'une saga commencée il y a plus de 40 ans". Verdict: la vie sur Mars fut jadis possible! **S&V n° 1138** @



### 2015 **LA GRANDE QUESTION DE L'EAU**

"Quatre siècles que les astronomes observent la planète rouge et y découvrent, ou croient y découvrir, de l'eau, de la vie... [...] Cette immense saga [...] vient de trouver son épilogue – et il est heureux! Une équipe franco-américaine l'a annoncé [...] de l'eau liquide s'écoule bel et bien sur Mars. Oui: de l'eau liquide! Et qui coule encore aujourd'hui!" "[...] Mars Reconnaissance Orbiter, véritable 'satellite espion' qui scrute Mars en permanence [...] a littéralement photographié en direct des écoulements à sa surface!" Reste à savoir d'où elle vient. Le feuilleton continue... **S&V n° 1178** @



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)



Un zeste de soleil dans nos carottes  
et vos papilles s'illuminent.

Suggestion de présentation. EM SAS RCS QUIMPER 957 802 816, capital social : 34 322 000, 166 - 07 route de concarnéau 29140 Rospezhen.

### CAROTTES RÂPÉES AU CITRON DE SICILE

Faites voyager vos papilles avec ces carottes râpées à la texture croquante, délicatement relevées de citron de Sicile gorgé de soleil. Un goût unique parfaitement préservé pour une recette gourmande qui **sent bon les beaux jours!**



POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE. [WWW.MANGERBOUGER.FR](http://WWW.MANGERBOUGER.FR)



**Heineken**<sup>®</sup>  
open your world\*



RCS Nanterre 414 842 022

PUBLICIS CONSEIL



C'est la recette unique de Heineken qui lui confère toute sa pétillance.  
\* Ouvrir une Heineken, c'est consommer une bière vendue dans le monde entier.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.