

ESPIONNAGE **SOURCIER** EXOPLANÈTE MICROBES SOUTERRAINS **MÉMOIRE**  
ADN ARTIFICIEL COGÉNÉRATION **MAIN ROBOTIQUE** CYBERGUERRE PÉNICILLINE

SCIENCE&VIE

# SCIENCE & VIE

JUIN 2014 N° 1161  MONDADORI FRANCE

NOUVELLE  
FORMULE

## AU-DELÀ DU REEL

LES PHYSICIENS OUVRONT  
LES PORTES DE L'ESPACE-TEMPS

France métro: 4,20 € - D: 6,80 € - BEL: 4,70 € - ESP: 4,90 € - GR: 4,90 € - DOM surf: 4,90 € - DOM avion: 6,90 € - ITA: 4,90 € - LUX: 4,70 € - PORT CONT: 4,90 € - CAN: 6,50 \$ - CAN: MAR: 4,80 \$ - TOM: 5,750 CFP - TOM A: 1400 CFP - CH: 8,5 FS - TUN: 7,5 DTU



**CANDY CRUSH**

POURQUOI CE JEU  
REND FOU



**ABEILLES**  
COMMENT  
POLLINISER  
SANS ELLES

**ALZHEIMER**  
LE DIABÈTE  
DU CERVEAU ?



Innovation  
that excites

# NOUVEAU NISSAN QASHQAI. URBAIN PAR INSTINCT.



**GAMME DIESEL à partir de**  
**289 € / MOIS<sup>(1)</sup>**

LLD 49 mois - 1<sup>er</sup> loyer de 2 499 €

Avec son design affûté, le Nouveau Nissan QASHQAI affiche un style audacieux. Son intérieur aux lignes fluides révèle une technologie embarquée toujours plus avancée. Avec son système d'aide au stationnement intelligent\* et son système de navigation NissanConnect\* équipé du Google® Send-to-Car, le Nouveau Nissan QASHQAI a plus que jamais l'instinct urbain.

\*Équipement disponible selon version sauf Visia.



Pour plus d'informations, rendez-vous sur **nissan.fr**  
Retrouvez l'actualité de Nissan sur [facebook.com/nissanfrance](https://www.facebook.com/nissanfrance)



Innover autrement. (1) Exemple pour un Nouveau Nissan QASHQAI Visia dCi 110 en Location Longue Durée sur 49 mois avec un premier loyer de 2 449 € suivi de 48 loyers de 289 €. **Modèle présenté** : Nouveau Nissan QASHQAI Tekna dCi 110 avec option peinture métallisée, en Location Longue Durée avec un premier loyer de **3 124 €**, suivi de 48 loyers de **376 €**. Restitution du véhicule chez votre concessionnaire en fin de contrat avec paiement des frais de remise à l'état standard et des kms supplémentaires. Sous réserve d'acceptation par Diac - SA au Capital de 61 000 000 € - 14, avenue du Pavé Neuf - 93160 Noisy le Grand - SIREN 702 002 221 RCS Bobigny. \*Hors assurances facultatives pour un kilométrage maximum de 60 000 km. Offre non cumulable avec d'autres offres, réservée aux particuliers chez les Concessionnaires participants, valable du 24/05/2014 au 30/06/2014. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 € - RCS Versailles B 699 809 174 - Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin 2, rue René Caudron - CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.

**Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 3,8 - 5,6. Émissions de CO<sub>2</sub> (g/km) : 99 - 129.**

# THE SINGLETON™

SINGLE MALT SCOTCH WHISKY

---

**ÉCOSSAIS JUSQU'AU GOÛT™**

---

The Singleton est né dans le Speyside, berceau des single malts écossais les plus fins. L'utilisation d'une proportion élevée de fûts de sherry, associée à un temps plus long consacré aux étapes de fermentation et de distillation font la particularité de la distillerie fondée en 1896. Le respect de ces méthodes ancestrales, et la recherche constante des meilleurs arômes, lui permettent de produire des single malts naturellement riches, délicieusement onctueux et parfaitement équilibrés. The Singleton 12 ans d'âge est la parfaite expression du caractère moelleux et délicatement fruité typique de la distillerie.

---

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



*The Singleton*

THE SINGLETON  
AGED 12 YEARS  
OF DUFFTOWN

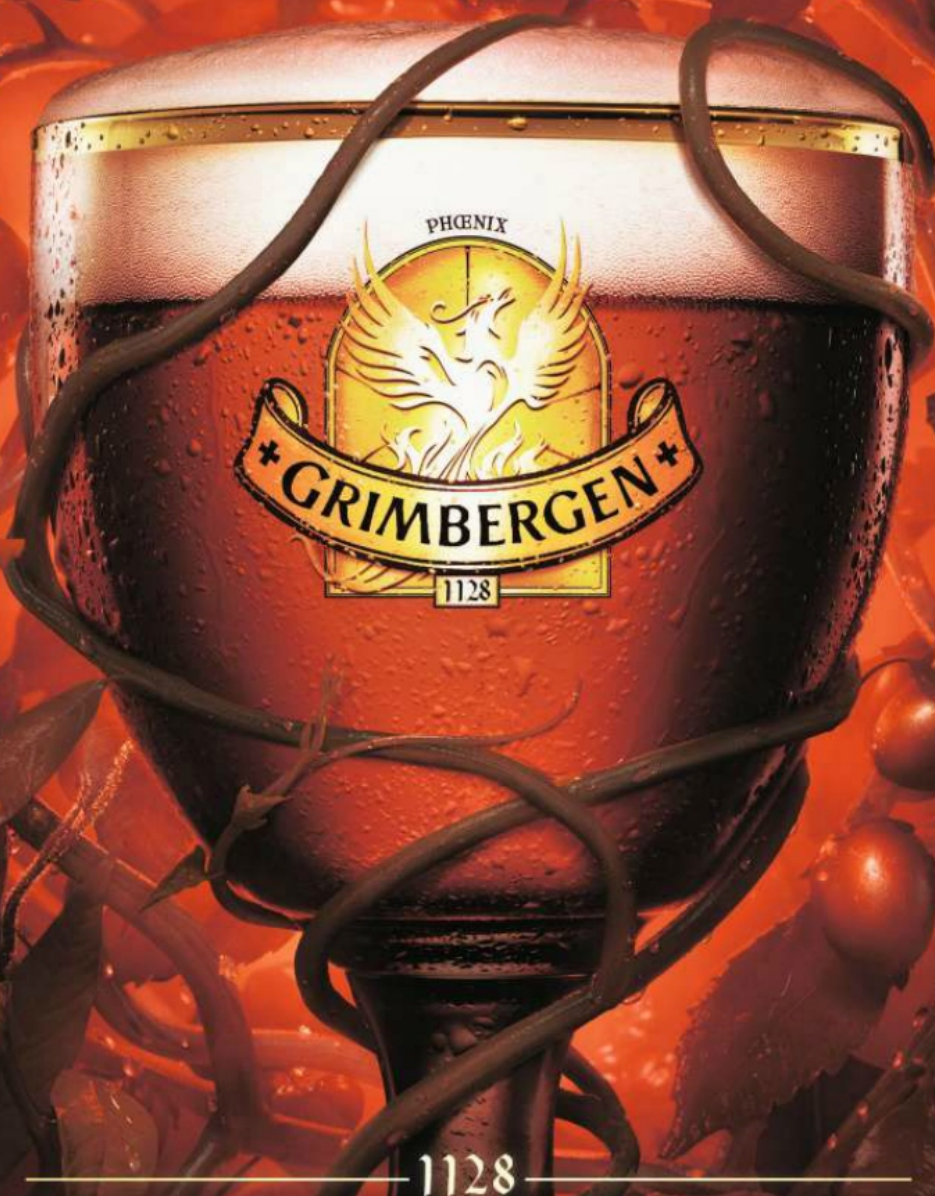


THE SINGLETON.  
*Single Malt Scotch Whisky*  
PRODUCT OF SCOTLAND  
*of Dufftown*

MATURED FOR 12 TWELVE YEARS

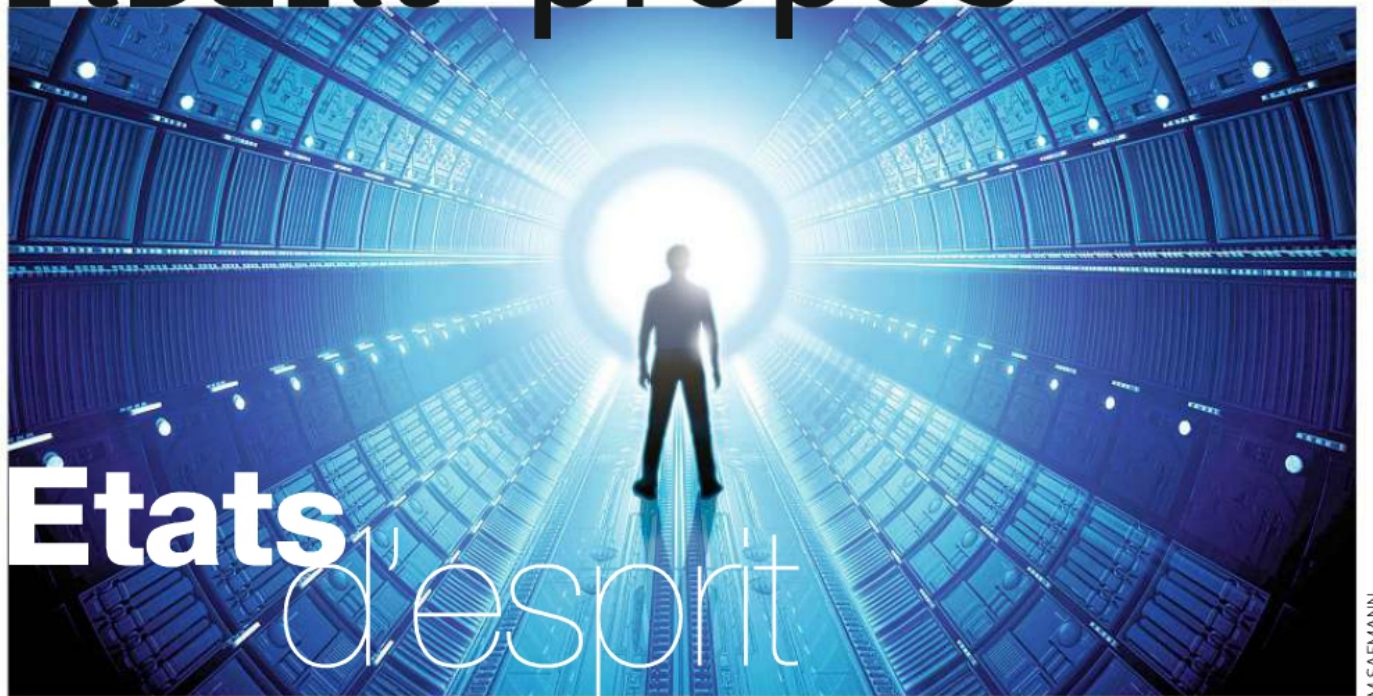
DISTILLED MATURED AND BOTTLED IN SCOTLAND  
PERFECTLY BALANCED, NATURALLY RICH & SMOOTH  
70cl e DUFFTOWN DISTILLERY, DUFFTOWN, KEITH 40%vol

+ L'INTENSITÉ +  
D'UNE LÉGENDE\*



— 1128 —  
+ GRIMBERGEN +  
BIÈRE D'ABBAYE - ABDIJBIER

ROUGE



M. SAEMANN

## Etats d'esprit

### La force de l'esprit

Le mois dernier, nous avons consacré un dossier à une découverte extraordinaire. Armés du télescope Bicep2, astrophysiciens et cosmologistes sont parvenus à obtenir une image de notre monde  $10^{-38}$  seconde après le big bang. Largement diffusée par les médias auprès du grand public, cette image continue d'émerveiller et d'émouvoir la communauté scientifique. Elle a apporté la preuve que les ondes gravitationnelles existent bel et bien et qu'elles furent responsables de la fulgurante inflation de notre espace-temps dès son émergence. Mais aussi, et peut-être surtout, elle laisse entrevoir un instant durant lequel la matière

obéissait tout à la fois aux principes de la physique quantique et à ceux de la relativité d'Einstein, deux théories jugées jusqu'ici irréconciliables.

La communauté scientifique n'a pas encore tiré toutes les leçons de cette observation extraordinaire qu'une autre découverte, tout aussi stupéfiante, suggère que physique quantique et relativité décrivent bien le même monde, que ce qui est vrai aux plus petites échelles l'est aussi aux plus grandes. Cette découverte, à laquelle nous consacrons notre dossier de couverture ce mois-ci, ne repose sur aucune observation ni aucune expérience. Il s'agit d'une découverte théorique restée jusqu'ici

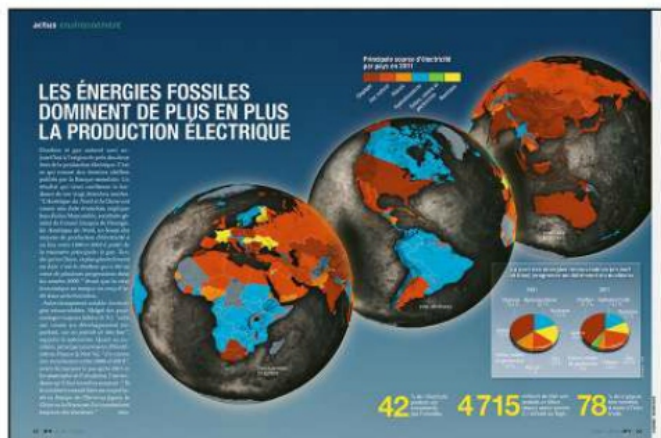
confinée au milieu de la recherche. Que dit-elle? Que poussées à leurs limites, les deux théories de la physique moderne disent strictement la même chose, à savoir que l'insaisissable manière dont deux photons communiquent (la modification de l'un entraîne instantanément celle de l'autre) est également celle dont deux trous noirs communiquent entre eux, offrant la perspective d'ouvrir des portes vers des espaces au-delà de notre Univers... Comment est-il possible que Einstein soit passé à côté de cette découverte majeure? Qu'elles en sont les conséquences aux plans pratique et théorique? Notre dossier fait le point.

### L'esprit d'escalier

On reste subjugués par la puissance de l'esprit humain quand il nous offre de tels voyages aux confins de l'espace et du temps! On en reste d'autant plus intrigués d'apprendre que

ce même esprit humain peut passer le plus clair de son temps les yeux rivés sur son smartphone à tenter d'aligner des petits bonbons colorés... Le jeu en question s'appelle Candy Crush et

constitue désormais un véritable phénomène de société. Dans notre nouvelle rubrique "science et société", nous essayons de comprendre les raisons de ce succès planétaire.



## Science & société

### Succès de Candy Crush Saga Pourquoi ce jeu engendre-t-il une telle addiction ?

**Le succès**  
Candy Crush Saga, le jeu de puzzle le plus populaire au monde, a connu un succès phénoménal. Pourquoi ?

**Les raisons**  
Le jeu est simple à jouer, mais très addictif. Il propose des défis quotidiens et des récompenses immédiates. De plus, il est gratuit, ce qui facilite son accès à un large public.

**Les mécanismes**  
Le jeu utilise des mécanismes de jeu qui favorisent l'addiction, tels que les récompenses immédiates, les défis quotidiens et les récompenses sociales.

# AU-DELÀ DU RÉEL

## LES PHYSICIENS OUVERT LES PORTES DE L'ESPACE-TEMPS

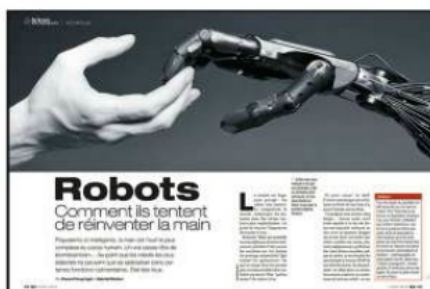
Personne n'avait pensé jusqu'ici à faire le rapprochement ! Les théoriciens Juan Maldacena et Leonard Susskind viennent de revisiter deux fameux concepts façonnés par Einstein et de s'apercevoir qu'ils ne font qu'un. Trous de ver et intrication quantique seraient en fait les deux faces d'une même pièce... De quoi décrire un Univers radicalement nouveau dont la trame est truffée de tunnels spatio-temporels.

PAR ROMÁN IKONICOFF ET MATHILDE FONTEZ

ER=EPR. La découverte tient en cette simple égalité qui fusionne deux monstres sacrés de la physique, deux icônes du XX<sup>e</sup> siècle. ER et EPR : d'un côté, il y a les "trous de ver", ces plumes de l'espace-temps entre deux trous noirs sur lesquelles se sont fondés nombre d'auteurs de science-fiction pour imaginer des voyages à travers l'espace sur des distances insurmontables, même à la vitesse de la lumière ; de l'autre, il y a "l'intrication quantique", cette propriété du monde de l'infiniment petit qui maintient connectées des particules quelle que soit la distance qui les sépare et qui a inspiré d'autres écrivains pour codifier des machines de téléportation intergalactiques.

Et entre ces deux concepts qui, si fantastiques puissent-ils paraître, sont néanmoins issus des corpus théoriques les plus solides, il y a donc le signe « = », que viennent d'apposer deux physiciens, Juan Maldacena de l'Institute for Advanced Study de Princeton et Leonard Susskind, à l'université Stanford de Californie. Le raccourci est saisissant. Selon eux, les fabuleux tunnels spatio-temporels...

JULIEN 2014 49



**SCIENCE VIE** 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex  
Tel : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67  
E-mail : [sciencevie@mondadori.fr](mailto:sciencevie@mondadori.fr) Recevez Science & Vie chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 35.** 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 abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion France métropolitaine. Un encart abonnement est jeté sur les exemplaires de la vente au numéro : diffusion Suisse et Belgique.

Un encart "Boutique S&V Débarquement 3 volets" est jeté en 4<sup>e</sup> de couverture sur la totalité des abonnements France métropolitaine. Quatre encarts "Kiosque Mag. Prix légers, tests 1, 2, 3 et 4" sont jetés en 4<sup>e</sup> de couverture sur une partie de la diffusion des abonnés France métropolitaine.

## 8 Forum

## Actus

## 14 Labos

On a trouvé le berceau des météorites martiennes ; Les momies animales recèlent bien des surprises...

## 22 Environnement

Les énergies fossiles dominant de plus en plus la production électrique...

## 28 Médecine

Une piste contre la fragilité des os se profile ; La trisomie 21 affecte le génome entier...

## 32 Technos

Les premières plantes bioniques ont vu le jour...

## Science &amp; société

## 36 Succès de Candy Crush Saga

Pourquoi ce jeu engendre-t-il une telle addiction ?

## 40 Affaire Snowden

Comment espionne-t-on les câbles du Net ?

## 42 Polémique autour de la Coupe du monde de football

Le climat peut-il influencer sur les résultats ?

## 43 Des prédictions relancent une enquête policière

Les sourciers ont-ils de réels pouvoirs ?

## 44 Baisse de la fertilité

Quelles menaces pèsent sur les spermatozoïdes ?

## A la Une

## 48 AU-DELÀ DU RÉEL

**Les physiciens ouvrent les portes de l'espace-temps**

- Le nouveau visage de l'espace-temps
- La science-fiction est dépassée

## 58 Des portes vers... la théorie du tout

- 100 ans d'efforts pour ouvrir la porte noire

## Science &amp; découvertes

## 64 Planétologie

**La Terre a une jumelle**

## 67 Neurologie

**Alzheimer : l'hypothèse du diabète**

## 70 Ecologie

**Voici le vrai microcosmos**

## 78 Cognition

**Ayumu, champion du monde de Memory**

## Science &amp; techniques

## 86 Biologie synthétique

**Ils ont créé le premier chromosome artificiel**

## 92 Centrales nucléaires

**Et si elles nous fournissaient l'eau chaude ?**

## 96 Agriculture

**Qui remplacera les abeilles domestiques ?**

## 104 Robots

**Comment ils tentent de réinventer la main**

## Science &amp; futur

- 112 L'Arctique se voit un avenir agricole via ses icebergs ; Le vol stratosphérique pour tous se profile ; Une ferme bio s'ouvre dans les sous-sols de Londres ; Une tour veut fixer le CO<sub>2</sub> pour s'autoconstruire

## Culture science

## 120 Bon à savoir

## 122 Questions/Réponses

## 128 A lire / à voir

## 131 Le ciel du mois

## 132 Technofolies

## 136 Il y a... 85 ans : la découverte de la pénicilline par Fleming

## Sur la piste des pirates ?

J'ai lu avec intérêt votre enquête sur la cyberguerre (avril 2014, n° 1159, p. 72). Vous prétendez que ce phénomène ne ressemble à rien de connu, notamment au regard de l'anonymat garanti par Internet. Pourtant, il me semble qu'il y a là une grande proximité avec les pirates du XVI<sup>e</sup> s. difficiles à identifier et à localiser. Et puis, l'anonymat du pirate informatique

me paraît tout relatif: il doit forcément passer par un opérateur téléphonique pour commettre son forfait, sa box est identifiée par une adresse et le comportement suspect d'un ordinateur (flux de données inhabituel...) est facilement repérable. Bref, on peut avoir les moyens de pister une attaque, il manque juste la volonté politique. *Jean-Paul Lamontre, Internet*



**SV** Pas si simple... Certes, un pirate "amateur" pourrait sans doute être détecté par les opérateurs ou les autorités. Toutefois, notre article

n'avait aucune intention de traiter des problèmes quotidiens de cybercriminalité ou de "cyberdélinquance", mais de cyberguerre et de cyberstratégie. Autrement dit: une affaire de professionnels aguerris. Or, l'informatique autorise une somme de subterfuges sans équivalent dans le monde physique, tandis que la structure même de l'Internet favorise l'anonymat (adresses IP interchangeables, trajectoire des paquets d'informations non dévoilée, etc.). L'identification d'une cyberattaque est actuellement un sujet majeur de recherche militaire... Dont les résultats ne risquent pas d'être divulgués de sitôt.

“ Pourquoi faire l'apologie de Darwin ? Qui a écrit au V<sup>e</sup> siècle avant J.-C. que *“tout ce qui existe est le fruit du hasard et de la nécessité”* ? C'est Démocrite, premier atomiste de l'histoire, inventeur de la science areligieuse. *Philippe Ledoux, Reims (51)*



## “Un vaisseau magnétique pourrait traverser Jupiter!”

Vous prétendez qu'il est impossible de traverser une planète comme Jupiter car la température et la pression liquéfieraient l'appareil (n° 1159, p. 126). Or, ces conditions sont supportées par les réacteurs des centrales à fusion grâce aux champs magnétiques qui les protègent. Dans l'une de ses nouvelles, Isaac Asimov décrit ainsi un vaisseau aux parois constituées de champs magnétiques. *Frédéric Mulleman, Internet*

**SV** Excellent ! Les spécialistes nous en ont parlé. Reste à embarquer l'énergie nécessaire à un tel bouclier...

# "Le compost fait le succès d'un jardin"

**Votre article sur le jardinage (n° 1158, p. 122) omet un point très important: le compost, qui assure succès ou échec. Le petit livre de l'ingénieur Jean Pain, *Un autre jardin*, décrit un jardin fertile sans produits phytosanitaires. Son secret: un bidon de 200 l à moitié enterré, où tous les déchets compostables marinaient 48 h dans l'eau avant de rejoindre le tas. Résultat: un compost noir en moins d'un mois d'été. Jardinier du week-end, je m'en inspirais, mes récoltes étaient minces mais savourées, et mes dépenses en produits quasi-nulles.**

Henri Gambourg, 89 ans, lecteur depuis 1937

## Les lois de Newton encore valables ?

Dans vos articles sur l'Univers, on voit régulièrement apparaître la matière et l'énergie noires. Tout ceci est bien préoccupant... Je me souviens du temps où j'étais étudiant et où on calculait la vitesse de rotation de la Terre autour du Soleil en se basant sur les masses et les distances, autrement dit, en appliquant les lois de Newton. Et tout cela marchait parfaitement ! A la suite de mes études, je savais que je pouvais décortiquer le système solaire, trouver les périodes de rotation, les vitesses des astres, disons... à 1 % près. Dois-

je considérer que tout cela n'est plus valable ?

Jean Amic, *Le Beausset* (83)

**SV** La matière noire et l'énergie noire n'ont en effet rien de satisfaisant ! Cependant, les spécialistes ont calculé que si ces mystérieuses substances sont dominantes à l'échelle des galaxies, elles n'ont qu'une faible influence localement : dans le système solaire, la totalité de la matière noire ne pèserait pas plus lourd qu'un dix-millième de Terre. Autant dire rien, comparé aux autres corps. Tout newtoniens soient-ils, vos calculs restent valables.

## On en reparle



## CANCER DU COL DE L'UTÉRUS: LE FIASCO DU VACCIN CONFIRMÉ

En mai 2012, *Science et Vie* titrait sur le "fiasco" de la campagne de vaccination contre les papillomavirus: un vaccin destiné à protéger les jeunes filles contre le cancer du col de l'utérus. Deux ans plus tard, le diagnostic se confirme. Fin avril, la médiatisation de nouvelles plaintes déposées par des jeunes femmes s'estimant victimes d'effets secondaires a amplifié la défiance contre le Gardasil et le Cervarix. Dans le même temps, la contestation a gagné les rangs des médecins: des centaines de professionnels s'élèvent, dans une pétition, contre l'utilité d'une telle vaccination. En contrepoint, sept sociétés savantes se sont, elles, insurgées contre le "discrédit" jeté sur ces vaccins, et parmi elles, le Collège national des gynécologues et obstétriciens français. Une cacophonie prévisible. En effet, le bénéfice de la vaccination reste difficile à démontrer: il est toujours impossible d'affirmer qu'elle diminuera significativement le nombre de cancers. Tandis que les risques d'effets indésirables, eux, augmentent automatiquement avec le nombre de personnes vaccinées... alors même que la sécurité de ces deux vaccins n'est pas particulièrement mise en cause. Des avantages peu convaincants mis en face de témoignages poignants... Tout est en place pour que la vaste campagne de vaccination contre les papillomavirus provoque des dégâts collatéraux graves: mettre en doute l'ensemble des vaccinations. Un comble au pays de Pasteur! C.T.

## On en reparle



### BOULES DE FEU

Et l'homme parvint à en créer

## LA FOUDRE EN BOULE A ENFIN ÉTÉ OBSERVÉE

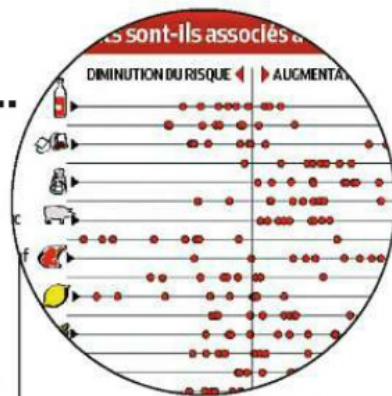
En mai 2006 (S&V n° 1064, p. 102), puis en novembre dernier (S&V n° 1154, p. 28), nous vous décrivions ces deux expériences incroyables ayant permis de reproduire en laboratoire de la foudre en boule, cet énigmatique météore mis en scène par Hergé dans *Les Sept Boules de cristal*. Une équipe de physiciens chinois, de l'université normale du Nord-Ouest, à Lanzhou, vient de frapper encore plus fort : elle a, pour la première fois, filmé un épisode de foudre en boule dans la nature, apportant ainsi la preuve définitive que cette apparition n'a rien d'une fantasmagorie. Tournées de façon purement fortuite, alors que les scientifiques filmaient des éclairs, ces images montrent une boule de 5 mètres de diamètre se déplaçant horizontalement à 8,6 mètres/seconde pendant 1,63 seconde, avant de disparaître. Mieux, en analysant la lumière émise par l'objet, les chercheurs ont montré qu'il contenait du silicium, du fer et du calcium. Ils confirment ainsi la théorie selon laquelle la foudre en boule résulte de la vaporisation d'un morceau de sol sous l'effet d'un impact de foudre. Les particules mises en suspension s'agencent alors en filaments nanométriques qui s'oxydent à l'air en émettant de la lumière. Ce qui n'a définitivement rien à voir avec les yétis, esprits frappeurs et autres petits hommes verts !

M.G.

## Le porc en question...

Dans votre article sur les interdits alimentaires, vous présentez un tableau (n° 1158, p. 69) sur les contradictions des résultats issus des études sur les aliments associés aux risques de cancer. Pourtant, sur le porc, je ne vois aucune étude (point rouge) notifiant une diminution du risque ; seulement des résultats portant sur une augmentation. Soit c'est une erreur, soit le porc représente un vrai risque selon la majorité des études. Dans ce cas, pourquoi ne pas en parler dans votre article ? Un complément d'information serait le bienvenu si manger du porc représente un risque pour la santé (le jambon reste un produit de base chez beaucoup de familles).  
Guillaume de Meausse, Lay-Saint-Christophe (54)

**SV** Si le tableau que nous avons publié est évocateur concernant les risques associés au porc, il est néanmoins difficile de vous répondre en nous basant uniquement sur les données qu'il contient. Seules les dix études les plus récentes (au moment où il a été élaboré, en 2012), associant le porc à un risque de cancer,



ont été mentionnées. Or, de même qu'on ne peut conclure à une augmentation ou une diminution du risque de cancer à partir d'une seule publication, on ne peut le faire à partir de dix... Il y a fort à parier que si les auteurs avaient élargi leur recherche bibliographique, ils auraient trouvé au moins une étude montrant l'inverse. Seules des méta-analyses permettent de dégager une tendance. Or, que nous apprennent-elles concernant le porc ? Que sa consommation, surtout sous forme de charcuteries et salaisons, augmente le risque de cancer, colorectal notamment. Et les recommandations officielles françaises (Inca, Anses, PNNS) et internationales (WCRF) sont très claires : nous devons limiter notre consommation de charcuteries. Pour ce qui est du porc frais, en revanche, les données manquent encore pour tirer des conclusions définitives.

## La boutique SCIENCE & VIE

Plus de  
**400**

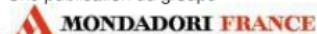
► Livres  
► Objets scientifiques  
► Idées cadeaux

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



## SCIENCE &amp; VIE

Une publication du groupe



PRÉSIDENT : Ernesto Mauri

## RÉDACTION

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

## DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Matthieu Villiers,  
assisté de Christelle Borelli

## RÉDACTEUR EN CHEF

Hervé Poirier

## RÉDACTEURS EN CHEF ADJOINTS

Grégoire Bouillier (édition),  
François Lassigne

## DIRECTRICE ARTISTIQUE

Yvonne Diraison

## CHIEF DE SERVICE

Valérie Greffoz (actualités),  
Caroline Tourbe (médecine)

## CHIEF DE RUBRIQUE

Muriel Valin (technologies)

## RÉDACTEURS

Elsa Abdoun, Boris Bellanger,  
Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat,  
Emilie Rauscher

## SECRÉTAIRE GÉNÉRAL DE RÉDACTION

Jean-Luc Glock

## 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),  
Isabelle Henneron ; Emmanuel Jullien  
(chef de service infographie)

## DOCUMENTATION

Marie-Anne Guffroy

## ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO

S. Aquino, L. Blancard, P.-Y. Bocquet,  
B. Bourgeois, L. Bouyssou, R. Brillaud,  
S. Brunier, G. Cirade, O. Capronnier,  
A. Dagan, A. Debroise, D. Delbecq,  
S. Devos, O. Donnars, S. Fay, V. Etienne,  
L. Gougis, F. Gracci, E. Haentjens,  
C. Hancock, D. Humbert, R. Ikonickoff,  
K. Jacquet, J. Jongwane, M. Kergoat,  
C. Lembezat, C. Martin, M. Martin,  
E. Monnier, P. Paiseux, L. Parra Craviotto,  
R. Persiaux, A. Rambaud, P. Richard,  
B. Robert, M. Rudler, M. Saemann, Y. Serra,  
G. Siméon, M. Spée, E. Thierry-Aimé

## DIRECTION-ÉDITION

## DIRECTION PÔLE

Carole Fagot

## DIRECTEUR DÉLÉGUÉ

Vincent Cousin

## DIFFUSION

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

## MARKETING

Sandra Boixel (responsable marketing),  
Michèle Guillet (chargée de promotion),  
Nathalie Carrère (abonnements)

## PUBLICITÉ

Valérie Caray (directrice exécutive),  
Caroline Soret (directrice de groupe  
commercial titres Automobile et Science),  
Virginie Commun (directrice de publicité  
adjointe), Lionel Dufour (directeur

de clientèle), Christine Chesse (assistante),  
Stéphanie Guillard, Angélique Consoli, Sabrina  
Rossi-Djenidi (planning),  
Stéphane Durand (trafic), Jean-Jacques  
Benezech, Grégory Gounse, Anne-Sophie  
Chauvière (opérations spéciales)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD

([infolondon@publieurope.com](mailto:infolondon@publieurope.com) -

44 (0)20 7927 9800);

Allemagne : Publieurope Munich ([infomunich@publieurope.com](mailto:infomunich@publieurope.com),  
0049 89 2908150);

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

Espagne : Publimedia Madrid

([infomadrid@publim-gestion.es](mailto:infomadrid@publim-gestion.es),  
0034 91 212 83 00)

## FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Nadine Chatry

## FINANCE MANAGER

Guillaume Zaneskis

## DÉPARTEMENT INTERNATIONAL

Mathilde Janier-Bonnichon,

Murielle Luche

## ÉDITEUR MONDADORI MAGAZINES FRANCE

Siège social : 8, rue François-Ory

92543 Montrouge Cedex

## DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Carminé Perna

## ACTIONNAIRE PRINCIPAL

Mondadori France SAS

## IMPRIMEUR : ELCOGRAF - ITALIE

N° ISSN : 0036-8 369

## N° DE COMMISSION PARITAIRE :

1015 K 79977. Tarif d'abonnement légal :

1 an, 12 numéros : 42,80 € ;

1 an, 12 numéros + 4 HS : 52,80 €.

Dépôt légal juin 2014

## RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par téléphone : 01 46 48 48 96

Par courrier :

SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE, CS

50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

Par internet (taper directement dans votre

navigateur) : [abo.scienceetvie.fr](http://abo.scienceetvie.fr)

Pour vous abonner par internet :

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

Etats-Unis et Canada : Express Mag,

Tél. : 1 800 363-1310 (français)

et 1 877 363-1310 (anglais).

Suisse : Edigroup, 022 860 84 50

[mondadori-suisse@edigroup.ch](mailto:mondadori-suisse@edigroup.ch)

Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304

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

Autres pays : nous consulter.

## À NOS ABONNÉS

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

## À NOS LECTEURS

## RENSEIGNEMENTS

Par courrier : 8, rue

François-Ory,

92543 Montrouge Cedex.

Par mail : [svlecteurs@mondadori.fr](mailto:svlecteurs@mondadori.fr)

[mondadori.fr](mailto:mondadori.fr)

## COMMANDE D'ANTIENS

NUMÉROS, RELIURES

ET VPC

Tel : 01 46 48 48 83

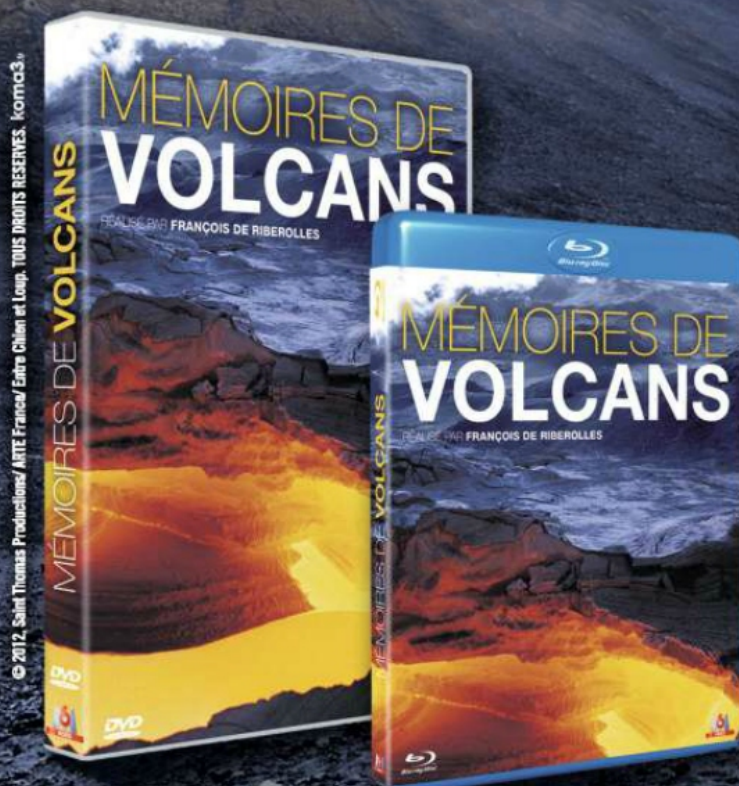
[Contact@laboutiquescienceetvie.com](mailto:Contact@laboutiquescienceetvie.com)



## MÉMOIRES DE VOLCANS

RÉALISÉ PAR FRANÇOIS DE RIBEROLLES  
SPÉCIALISTE DES VOLCANS

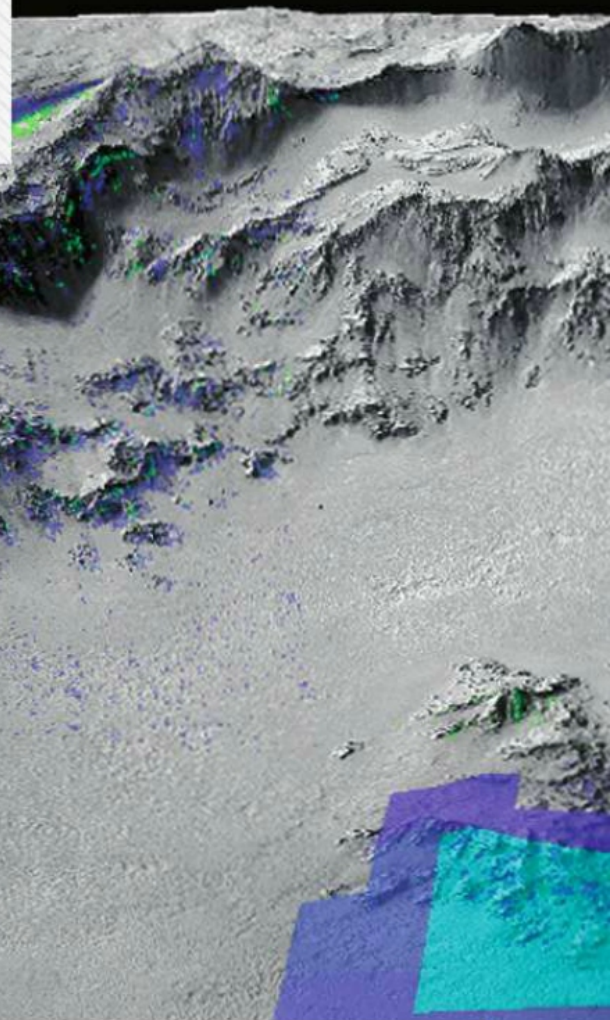
Un film documentaire  
exceptionnel



© 2012, Saint Thomas Productions / Arte France / France 3 / France 4 / France 5 / France 6 / France 7 / France 8 / France 9 / France 10 / France 11 / France 12 / France 13 / France 14 / France 15 / France 16 / France 17 / France 18 / France 19 / France 20 / France 21 / France 22 / France 23 / France 24 / France 25 / France 26 / France 27 / France 28 / France 29 / France 30 / France 31 / France 32 / France 33 / France 34 / France 35 / France 36 / France 37 / France 38 / France 39 / France 40 / France 41 / France 42 / France 43 / France 44 / France 45 / France 46 / France 47 / France 48 / France 49 / France 50 / France 51 / France 52 / France 53 / France 54 / France 55 / France 56 / France 57 / France 58 / France 59 / France 60 / France 61 / France 62 / France 63 / France 64 / France 65 / France 66 / France 67 / France 68 / France 69 / France 70 / France 71 / France 72 / France 73 / France 74 / France 75 / France 76 / France 77 / France 78 / France 79 / France 80 / France 81 / France 82 / France 83 / France 84 / France 85 / France 86 / France 87 / France 88 / France 89 / France 90 / France 91 / France 92 / France 93 / France 94 / France 95 / France 96 / France 97 / France 98 / France 99 / France 100

Disponible en  
Blu-Ray, DVD et VOD le 3 juin





PLANÉTOLOGIE

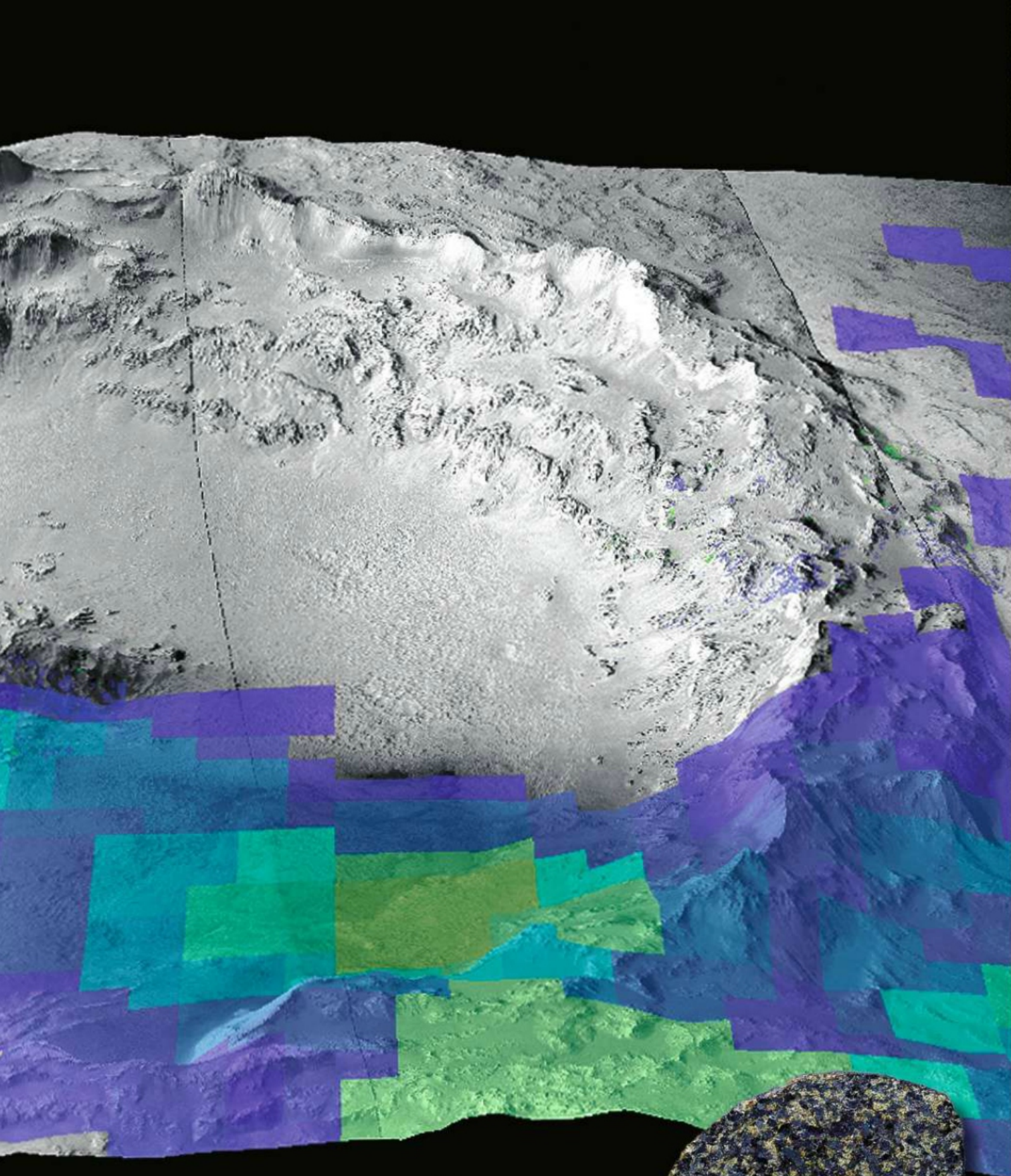
## ON A TROUVÉ LE BERCEAU DES MÉTÉORITES MARTIENNES

Une grande partie des météorites martiennes proviendrait d'un unique cratère, nommé Mojave. C'est ce qu'ont découvert trois chercheurs issus de laboratoires français et norvégien. La grosse centaine de météorites martiennes aujourd'hui répertoriées sur Terre a en effet été éjectée récemment (moins de 20 millions d'années), lors de la chute d'asté-

roïdes sur la planète rouge. Or, si les cratères anciens se comptent par milliers, les plus récents sont seulement quelques dizaines. *“Nous avons cherché, parmi ces cratères, celui qui pouvait être à l'origine de la plus grosse famille de météorites martiennes, les shergottites”*, raconte Anouck Ody, du Laboratoire de géologie de Lyon. Qui dit grosse

famille, dit sans doute gros cratère... Avec ses 55 km de diamètre, Mojave, le plus gros cratère récent, était donc un bon candidat. En effet, les analyses spectroscopiques des sondes *Mars Express* et *Mars Reconnaissance Orbiter* ont révélé une grande similarité minéralogique entre ses roches et les shergottites. La radioactivité des mé-

téorites indique en outre qu'elles ont passé moins de 10 millions d'années dans l'espace, ce qui est compatible avec l'âge du cratère – moins de 5 millions d'années. Quant aux shergottites, dont l'âge faisait débat, elles seraient très anciennes, comme le confirme le terrain du cratère : plus de 4 milliards d'années. **A.D.**



^> Le cratère Mojave, analysé par les sondes, porte des traces de pyroxène et d'olivine (en vert et bleu), que l'on retrouve dans les shergottites martiennes (ci-contre).



## ÉGYPTOLOGIE

## LES MOMIES ANIMALES RECÈLENT BIEN DES SURPRISES

Longtemps, les momies animales ont fait pâles figures face aux momies humaines – surtout pharaoniques. Les millions de chiens, chats ou ibis exhumés intéressaient peu les égyptologues... Mais depuis 5 ans, des études se penchent enfin sur ces dépouilles ! Le passage aux rayons X de 60 d'entre elles sorties des réserves du Brooklyn Museum (Etats-Unis), et de 32 à la tomographie, apporte ainsi son lot de surprises. Dont la première est la forte proportion de... contrefaçon : les banderoles ne cachaient aucun

animal, juste du vide, des os ou une plume ; ou bien l'animal momifié n'est pas "le bon" (ci-dessus), etc. Preuves du trafic qui entourait ce marché lucratif dans les temples. D'autres découvertes sont touchantes : un chat (ci-contre), dans une position humaine ; des lettres placées avec les corps pour être transmises aux dieux. Ces momies dévoilent ainsi tout un pan mal connu de la dévotion des Egyptiens à la fin du Nouvel Empire, alors que leur société connaît de fortes turbulences. **E. R.**

^ Ci-dessus, cette momie à la forme d'ibis abritait en fait... des serpents. Ci-contre, un chat placé dans une position quasi humaine.





## L'ÉLÉPHANT DISTINGUE LES VOIX ENNEMIES

Selon des chercheurs britanniques, en Afrique, les pachydermes reconnaissent la voix des Massais (qui les tuent). Ils sont en effet davantage effrayés que lorsqu'ils entendent la voix des Kamba (des agriculteurs). M.R.

## L'ÂGE ET LE BÂILLEMENT

Bâiller devient moins contagieux avec l'âge. Des chercheurs américains ont observé 328 participants regardant une vidéo de personnes en train de bâiller : si 222 ont craqué au moins une fois, les plus âgés résistaient le mieux. L.G.

## LE COUCOU EST UTILE

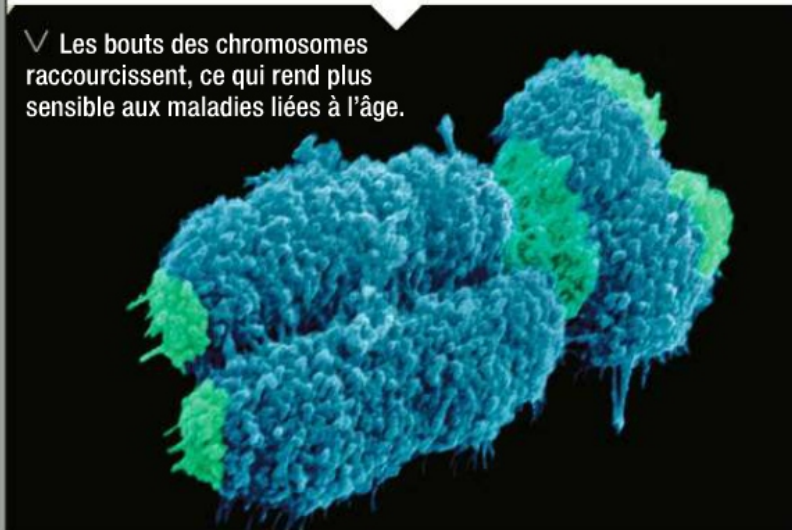
Le coucou geai pond dans les nids d'oiseaux qui nourriront son rejeton. Mais des chercheurs espagnols ont découvert que les corneilles noires parasitées y trouvent un bénéfice : le bébé coucou sécrète une substance répulsive qui éloigne les prédateurs. V.E.

## ÉPIGÉNÉTIQUE

### Grandir dans un milieu défavorisé et instable altère le génome

On savait que le stress contribuait à accélérer chez les adultes un processus naturel : le raccourcissement des télomères (les extrémités protectrices des chromosomes) avec l'âge. Mais c'est la première fois qu'une étude est menée chez des enfants (40 garçons âgés de 9 ans). Des chercheurs de l'université du Michigan ont constaté que les télomères de ceux vivant dans des conditions difficiles étaient plus courts de 19 % par rapport à ceux des enfants issus de milieux favorisés. À l'inverse, les enfants dont la mère a fait des études supérieures ont des télomères 32 % plus longs, et ceux qui grandissent dans une famille stable ont des télomères 40 % plus longs que les enfants vivant dans une cellule familiale déstructurée. Or, des télomères courts, au fil du temps, altèrent les chromosomes et augmentent le risque de contracter des maladies liées à l'âge. B.Ro.

✓ Les bouts des chromosomes raccourcissent, ce qui rend plus sensible aux maladies liées à l'âge.



## PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

### Les plantes aussi sont marquées par le temps qui passe

13 000 ans pour un chêne de Palmer, 10 500 ans pour des conifères de Tasmanie... les plantes résisteraient-elles à l'épreuve du temps ? Pas du tout, selon une équipe franco-suisse. Comme les animaux, leurs cellules accumulent au fil de leurs divisions des erreurs qui entraînent une dégradation de l'organisme... et seraient même transmises à leurs descendants ! Pour valider cette hypothèse, les biologistes se sont penchés sur la transmission de deux caractéristiques chez une petite plante, le compagnon blanc (*Silene latifolia*). Ils ont montré que le nombre et la taille des fleurs diminuaient avec l'âge, et que ce déclin était inscrit dans leurs gènes. De quoi influencer l'évolution de l'espèce. E.H.

➤ Plante herbacée compagnon blanc (*Silene latifolia*).





# NOUVELLE PEUGEOT 308 SW

## NOUVEAUX MOTEURS PureTech ET BlueHDI

### DES SENSATIONS EN GRAND



MTC Automobile Peugeot 06 144 503 103 Peugeot



BVQ-Cert. 60333203

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL

Nouvelles motorisations éco-performantes



#### PureTech

Découvrez le nouveau moteur 3 cylindres turbo essence PureTech 130ch qui permet de réduire la consommation et les émissions de CO<sub>2</sub> jusqu'à 21% par rapport à son équivalent en 4 cylindres.

**Moteur 1,2L PureTech 130 S&S BVM6 : consommation mixte (en l/100 km) : de 4,7 à 5,0. Émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) : de 109 à 115.**

#### BlueHDI

Laissez-vous surprendre par la technologie BlueHDI qui, couplée au Stop & Start, est la plus efficace du marché en termes de réduction des émissions polluantes et de consommation de carburant.

**Moteur 1,6L BlueHDI 120 BVM6 : consommation mixte (en l/100 km) : de 3,2 à 3,3. Émissions de CO<sub>2</sub> (en g/km) : de 85 à 88.**

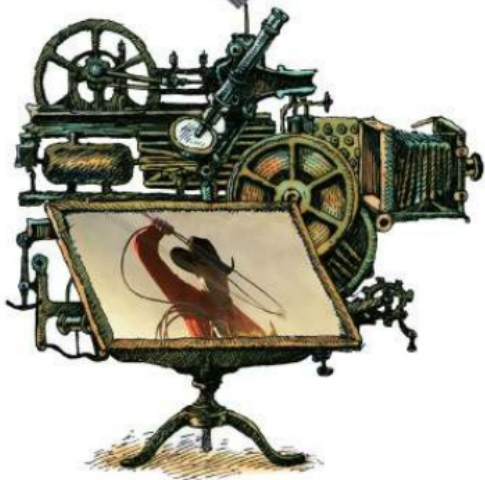
Louez la voiture de l'année, avec le service de location *Mu by Peugeot*, à partir de 45 € TTC/jour. Rendez-vous sur [nouvelle308.mu.peugeot.fr](http://nouvelle308.mu.peugeot.fr)

## NOUVELLE PEUGEOT 308 SW

MOTION & EMOTION



PEUGEOT



## On tient le secret du bon maniement du lasso

La littérature scientifique était désespérément muette au sujet du lasso. Le mal est réparé. Trois physiciens de l'Ecole polytechnique de Lausanne et de l'université Paris-Sud-Orsay viennent de présenter, à la réunion annuelle de la société de physique à Denver, une étude complète sur la corde des cow-boys. Ils ont modélisé son mouvement en fonction de différents paramètres, comme l'amplitude de la rotation ou la friction du nœud coulant. Pour cela, ils ont détaillé les moindres gestes des spécialistes *via* des caméras rapides. Ils ont même conçu spécialement un robot tourneur de lasso... De quoi mieux comprendre les équations – simples formellement, mais difficiles à manier – qui régissent la dynamique des cordes, fils et autres tiges élastiques. Et de quoi proposer la recette de la boucle parfaite, largement ouverte et horizontale : placer une grande longueur de corde dans la boucle – au moins 70 %. Tourner le poignet régulièrement dans un plan horizontal de sorte à effectuer deux à trois rotations par seconde. Et enfin, la touche finale : dérouler à chaque tour la corde entre ses doigts, afin d'éviter toute torsion. C'est là tout le secret. Un petit mouvement, presque invisible, sans lequel le lasso finit par partir en vrille.

**M.F.**



^ Nos cellules souches (ci-dessus) perdent leurs facultés sans ce gène archaïque.

### BIOLOGIE CELLULAIRE

## LE GÈNE D'UN VIRUS ANCIEN A UN RÔLE VITAL POUR NOUS

Sans le gène d'un ancien virus, pas de cellules souches pluripotentes, ces cellules indispensables qui ont le potentiel de donner naissance à toutes les autres et de s'autorenouveler ! C'est ce qu'ont découvert des chercheurs de Singapour et du Canada. "*Nous avons remarqué que le gène **HERV-H** s'exprimait spécifiquement dans les cellules souches embryonnaires (ES), issues d'un embryon de quelques jours*", raconte Guillaume Bourque, qui a co-dirigé l'étude à l'université McGill de Montréal. Les chercheurs ont bloqué l'expression de ce gène dans les cellules ES : elles se sont

alors uniquement différenciées en fibroblastes (cellules du tissu conjonctif). Ce gène est aussi indispensable à la reprogrammation de cellules différenciées en cellules souches "pluripotentes induites" (iPS), qui ont le même potentiel que les ES, mais sont obtenues à partir de cellules adultes. D'où nous vient ce gène **HERV-H** ? D'un rétrovirus qui aurait intégré son génome voici 40 millions d'années dans l'ADN d'un spermatozoïde ou d'un ovule chez l'un de nos ancêtres. Depuis, le virus s'est recopié à divers endroits du génome, a accumulé des mutations, et acquis son rôle actuel. **V.E.**



^ Cet arthropode fossile avait un système vasculaire complexe (en rouge).

PALÉONTOLOGIE

## VOICI LE PLUS VIEUX SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE CONNU

Chez les premiers arthropodes, on pensait que seul le système digestif résistait à la fossilisation. Eh bien, la découverte d'un ancêtre des crustacés dans l'actuel Yunnan (Chine) par une équipe internationale de chercheurs prouve le contraire. Appartenant à l'espèce *Fuxianhuia protensa*, une branche éteinte, le spécimen de plus de 7 cm de long qui

dormait dans des sédiments du Cambrien – 520 millions d'années – présente le plus vieux système cardiovasculaire connu chez un arthropode fossilisé. Et son anatomie est plutôt élaborée ! L'animal marin possède un large vaisseau sanguin dorsal qui court du thorax au cerveau. Il a aussi une sorte de cœur médian, à partir duquel s'étend un dense ré-

seau artériel qui irrigue ses organes, dont son cerveau, ses yeux et ses antennes. Ce système vasculaire serait même plus complexe que celui... de nombreux crustacés modernes ! Il s'agirait en fait d'un modèle de base à partir duquel auraient évolué, avec des variantes, les systèmes cardiovasculaires de divers groupes de crustacés.

L.Bo.

ARCHÉOLOGIE

## Des visages sculptés ont été mis au jour en Syrie

A Tell Qarassa, dans le sud de la Syrie, des archéologues franco-espagnols ont mis au jour un fragment d'os de bovidé de 5 cm sur lequel ont été sculptés deux visages aux yeux clos. Vieille de plus de 10 000 ans, la figurine est l'une des plus anciennes à représenter un visage humain, les hommes ayant eu, jusqu'alors, une préférence pour les animaux. Retrouvée près d'une tombe, elle pourrait figurer un saut conceptuel plus large : elle a probablement été utilisée lors de rites funéraires et pourrait représenter les ancêtres défunts.

C.H.

✓ La figurine exhumée est vieille de plus de 10 000 ans.



XIAOYA MA - IBNEZ ET AL. ANTIQUITY 2014

COGNITION

## Les bébés ont une préférence innée pour certaines syllabes

En français, comme dans de très nombreuses langues, une multitude de mots débutent par le son "bl" : bleu, blouse, blaureau... À l'inverse, le son "lb" est extrêmement rare, quelle que soit la langue parlée. Une équipe de chercheurs italiens a montré que les bébés âgés de 2 à 5 jours étaient déjà capables de distinguer ces deux types de syllabes et qu'ils avaient une préférence pour les premières. Pour les scientifiques, c'est la preuve que nous possédons, dès la naissance et de façon universelle, les bases de la construction syllabique.

C.H.



Partenaire officiel

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

Vous n'en croirez pas vos yeux



## Nouveau Kia SPORTAGE



### Série limitée Révélation suréquipée

Le Pouvoir de Surprendre



**299 €<sup>(1)</sup>** /mois

1<sup>er</sup> loyer majoré à 3 900 €  
Financement en LOA sur 49 mois et 60 000 km

- Une offre de Location avec Option d'Achat<sup>(2)</sup>
- 7 ans de garantie\*
- 7 ans d'entretien pour 1 € de plus<sup>(2)</sup>
- 7 ans de mises à jour de la cartographie\*\*

Consommations mixtes et émissions de CO<sub>2</sub> du nouveau Kia Sportage : de 5,2 à 7,2 L/100 km - de 135 à 189 g/km.

\* Garantie 7 ans ou 150 000 km (1<sup>er</sup> des deux termes échu) valable pour tous les modèles Kia en France métropolitaine et Corse (hors DOM-TOM) et dans tous les Etats membres de l'UE ainsi qu'en Norvège, Suisse, Islande et à Gibraltar. \*\* Offre limitée à l'achat d'un véhicule Kia neuf équipé d'un terminal Navigation LG ou MOBIS monté en usine par Kia à compter du 1<sup>er</sup> mars 2013 chez les distributeurs participants. L'offre comprend la mise à jour annuelle des cartes du terminal du véhicule, dans la limite de 6 mises à jour, sous réserve d'une installation par un réparateur agréé Kia et de la disponibilité de ladite mise à jour. (1) Exemple de Location avec Option d'Achat (LOA) de 49 mois et 60 000 km pour le financement d'un nouveau Kia Sportage Révélation 1,6 L essence GDi 135 ch ISG BVM6 4x2 à 24 650 € TTC au 01/01/2014, aux conditions suivantes : apport placé en 1<sup>er</sup> loyer majoré à 3 900 € TTC, suivi de 48 loyers mensuels de 299 € TTC. Après le paiement du dernier loyer, vous pouvez restituer votre Kia Sportage selon les conditions prévues au contrat ou l'acquiescer en levant l'option d'achat. Option d'achat : 10 900 €. Montant total dû avec achat en fin de contrat : 29 162,56 € dont frais de dossier étalés du 2<sup>e</sup> au 4<sup>e</sup> loyer : 739,50 € (exemple hors assurance facultative). Coût mensuel de l'assurance facultative Assurance De Personne : 19,72 €/mois et s'ajoute au montant du loyer ci-dessus (3). Conditions sur [kia.com](http://kia.com).

#### UN CRÉDIT VOUS ENGAGE ET DOIT ÊTRE REMBOURSÉ. VÉRIFIEZ VOS CAPACITÉS DE REMBOURSEMENT AVANT DE VOUS ENGAGER.

Aucun versement sous quelque forme que ce soit, ne peut être exigé d'un particulier, avant l'obtention d'un ou plusieurs prêts d'argent. (2) Offre réservée aux personnes physiques pour tout Kia Sportage commandé entre le 01/03/2014 et le 31/05/2014 et financé en Location avec Option d'Achat Kia Finance, d'une durée de 49 mois maximum et dans la limite de 150 000 km chez tous les distributeurs Kia participants (conformément aux préconisations d'entretien du constructeur, non cessible excepté en cas d'exercice de l'option d'achat par le client auprès de l'organisme prêteur). Sous réserve d'acceptation par Kia Finance, département de CGL, Compagnie Générale de Location d'équipements, SA au capital de 58 606 156 € - 69, avenue de Flandre 59708 Marcq-en-Baroeul Cedex - SIREN 303 236 186 - RCS Lille Métropole. (3) Tarification pour un client âgé de 18 à 75 ans en bonne santé et ne nécessitant pas de surprime et pour un montant correspondant au prix de vente TTC du véhicule.

# LES ÉNERGIES FOSSILES DOMINENT DE PLUS EN PLUS LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE

Charbon et gaz naturel sont aujourd'hui à l'origine de près des deux tiers de la production électrique. C'est ce qui ressort des derniers chiffres publiés par la Banque mondiale. Un résultat qui vient confirmer la tendance de ces vingt dernières années. *"L'Amérique du Nord et la Chine ont connu une forte évolution, explique Jean-Eudes Moncomble, secrétaire général du Conseil français de l'énergie. En Amérique du Nord, un boom des moyens de production d'électricité a eu lieu entre 1998 et 2002 à partir de la ressource principale : le gaz. Tandis qu'en Chine, et plus généralement en Asie, c'est le charbon qui a été au cœur de plusieurs progressions dans les années 2000."* Avant que la crise économique ne marque un coup d'arrêt dans cette évolution.

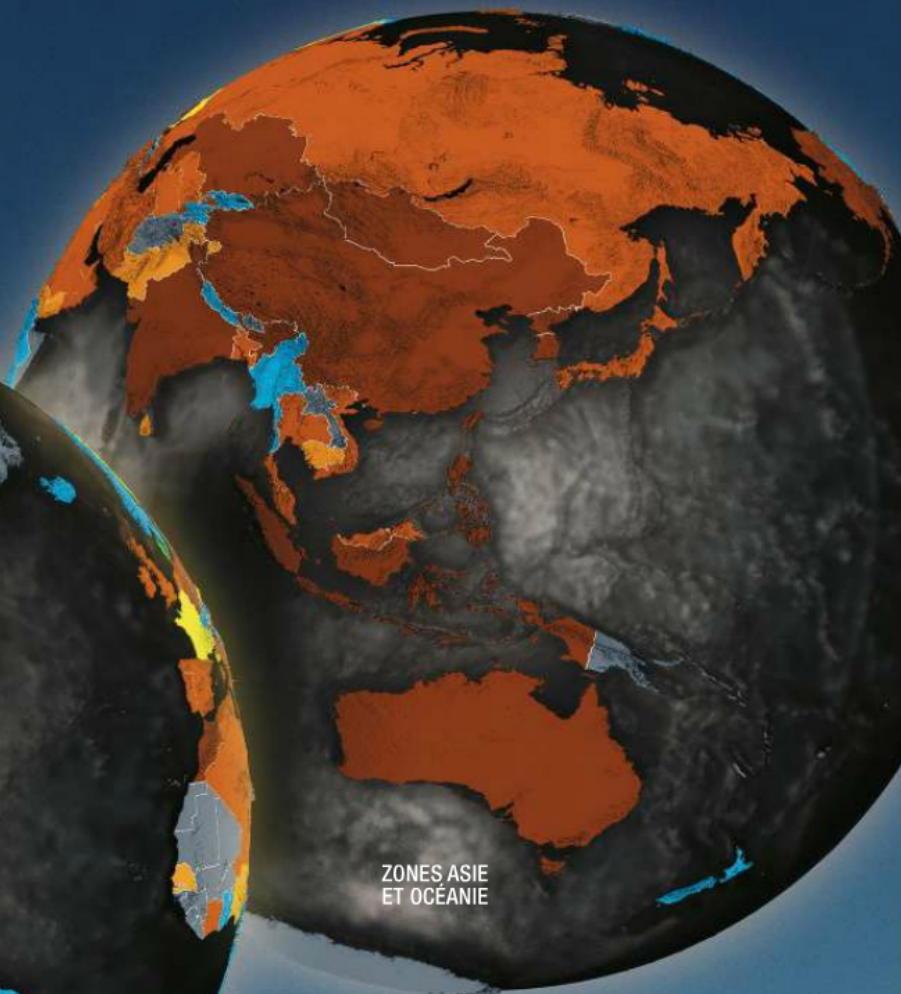
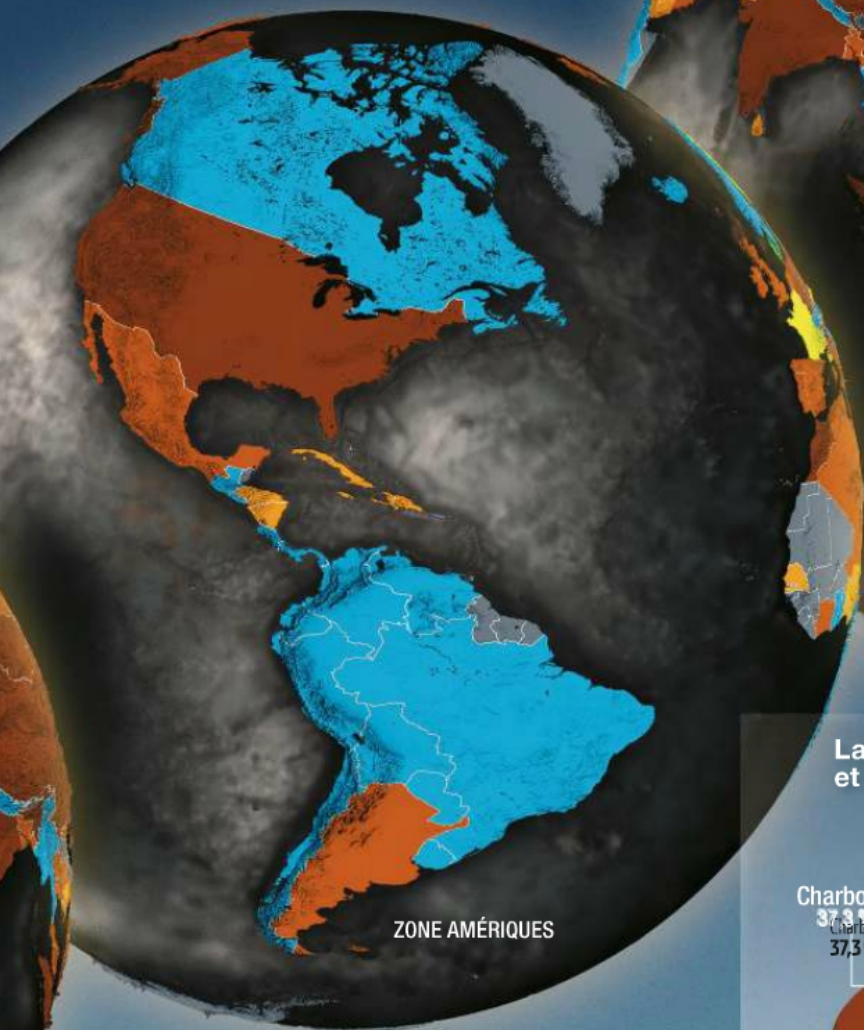
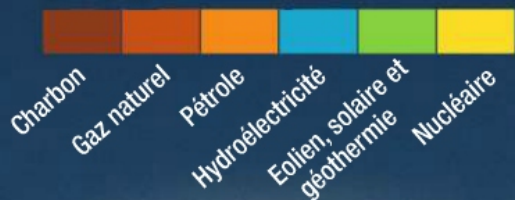
Autre changement notable : les énergies renouvelables. Malgré des pourcentages toujours faibles (4 %), *"elles ont connu un développement important, car on partait de très bas"*, rappelle le spécialiste. Quant au nucléaire, principal pourvoyeur d'électricité en France (à 79,4 %), *"il a connu une renaissance entre 2006 et 2010"*, avant de marquer le pas après 2011 et la catastrophe de Fukushima. Une tendance qu'il faut toutefois nuancer : *"Si le nucléaire connaît bien un coup d'arrêt en Europe de l'Est et au Japon, la Chine ou le Royaume-Uni construisent toujours des réacteurs."*

B.Ro.

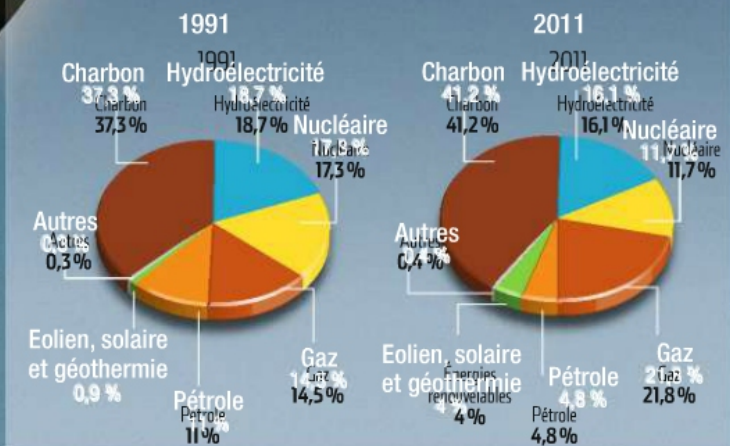


ZONES AFRIQUE  
ET EUROPE

## Principale source d'électricité par pays en 2011



## La part des énergies renouvelables (en vert et bleu) progresse au détriment du nucléaire



SOURCE : IEA

**42** % de l'électricité produite est consommée par l'industrie.

**4 715** milliards de kWh sont produits en Chine chaque année (contre 0,1 milliard au Togo).

**78** % de la population mondiale a accès à l'électricité.

GÉOPHYSIQUE

# LA NAISSANCE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES S'ÉCLAIRE

Elles composent la surface de la Terre (lithosphère) et se déplacent de quelques centimètres par an, coulisent, se chevauchent (subduction) ou s'entrechoquent. Mais les plaques tectoniques terrestres gardaient jusqu'ici secrète leur naissance. Si la présence de zircons et de granites – n'ayant pu se former que dans des zones de subduction il y a plus de 4 milliards d'années – indiquait bien un début de formation des plaques, elle n'en révélait pas l'origine. D'après les modélisations de Yanick Ricard, du laboratoire de géologie de Lyon, et David Berco-  
vici, de l'université Yale (Etats-Unis), de lents mouvements de convection du

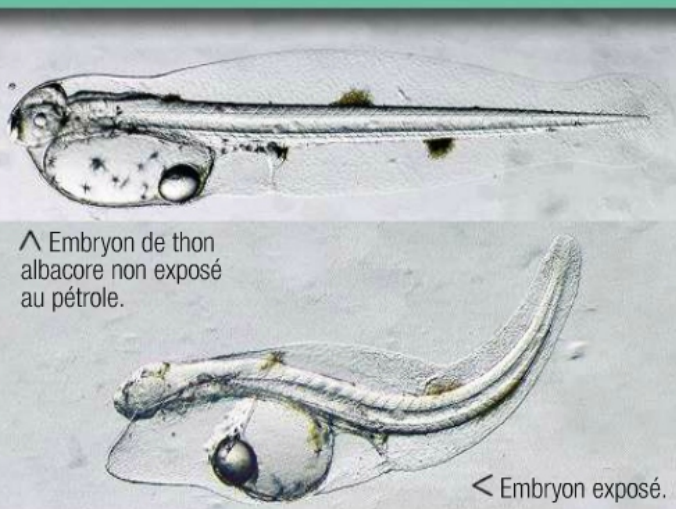
manteau auraient étiré la surface terrestre. La taille des grains des roches aurait ainsi diminuée, créant des zones de faiblesse. *“Plus les grains sont petits, plus la roche devient malléable”*, explique Yanick Ricard. Au hasard des mouvements, de nouvelles zones de faiblesse seraient apparues ici et là, tandis que les précédentes cicatrisaient. Mais la cicatrisation de la croûte terrestre dure 1 milliard d'années, sa fragilisation seulement 10 millions d'années : les zones de faiblesse se seraient ainsi accumulées dans la lithosphère, la découpant en plaques qui s'individualisent il y a 3 milliards d'années, en parfait accord avec l'histoire géologique. **S.F.**



ÉCOTOXICOLOGIE

## Les marées noires fragilisent le cœur des poissons

Des chercheurs américains et australiens ont mis en évidence les dégâts provoqués par la catastrophe pétrolière de Deepwater Horizon (2010) dans le golfe du Mexique sur les poissons qui étaient alors en période de frai. Thon rouge, thon albacore, séréole, tous les embryons étudiés ont développé de graves dysfonctionnements cardiaques, parfois des malformations des nageoires. Les chercheurs les ont exposés, en éclosure, aux hydrocarbures présents lors du déversement. Les autres espèces présentes ont probablement subi le même sort. **L.G.**





△ La lenteur de la croûte terrestre à résorber les failles explique le nombre des plaques tectoniques (ici, faille de San Andreas, en Californie).

# 8 kg

C'est la quantité de déchets que les alpinistes entreprenant l'ascension de l'Everest doivent redescendre au camp de base (à 5 145 mètres). En quelques décennies, 5 000 cordées lancées à l'assaut du toit du monde y ont abandonné des tonnes de débris divers (bouteilles d'oxygène, matériel, tentes, emballages...). Depuis le mois d'avril, le ministère du Tourisme népalais leur impose donc de jouer les éboueurs, sous peine d'amendes et de poursuites judiciaires.

D.H.



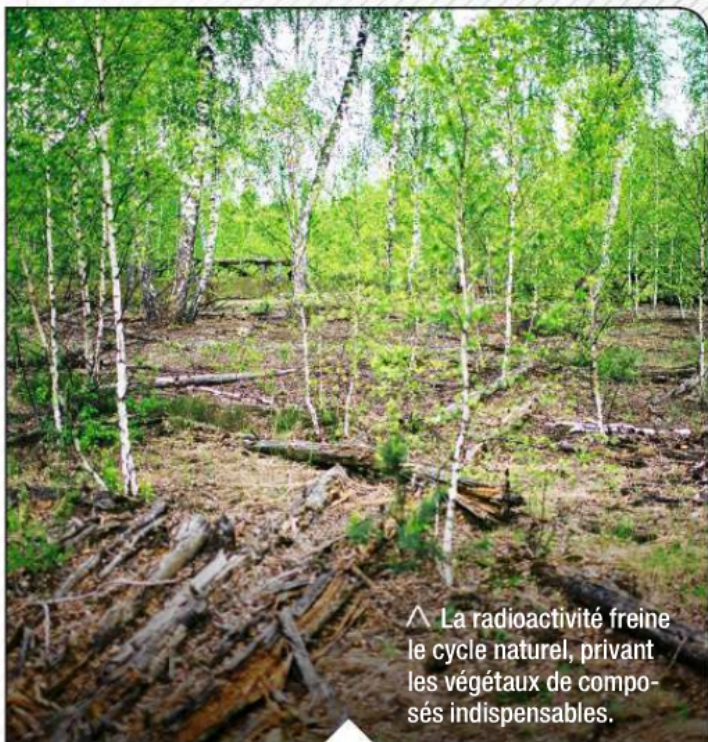
## ÉCOLOGIE URBAINE

### Le pigeon à plumage sombre s'adapte mieux à la pollution

Selon une étude française, les pigeons au plumage sombre sont les mieux adaptés à l'environnement des villes. C'est à la mélanine, pigment naturel qu'ils possèdent en plus grande quantité que leurs homologues plus pâles, qu'ils devraient leur avantage. Celle-ci s'avère capable de fixer les métaux lourds associés aux pollutions émises par les activités humaines, et de les séquestrer dans certaines parties du corps, comme les plumes. Une bonne chose quand on connaît les effets de ces polluants sur les oiseaux : couvée plus petite, problèmes de fertilité. Pour vérifier cet avantage sélectif, 97 pigeons bisets, sombres et pâles, ont été capturés en banlieue parisienne et gardés un an dans des volières. Résultat : le zinc, métal lourd, était plus concentré dans les plumes des pigeons les plus sombres. Autrement dit, ces oiseaux naturellement chargés en mélanine ont stocké plus de zinc dans leurs plumes, à défaut de l'accumuler dans le sang. De quoi préserver leur santé ! **M.S.**

▽ Il stocke le zinc dans son plumage, pas dans le sang, via la mélanine.





△ La radioactivité freine le cycle naturel, privant les végétaux de composés indispensables.

## RADIOACTIVITÉ

# TOUT AUTOUR DE TCHERNOBYL, LA FORÊT S'EST FIGÉE

Des amas de feuilles mortes, du bois mort qui ne pourrit pas, des arbres qui poussent au ralenti... les sites autour de Tchernobyl sont comme pétrifiés, 28 ans après l'explosion de la centrale. Pourquoi? Timothy Mousseau (université de Caroline du Sud) et ses collaborateurs ont testé une hypothèse: dans un rayon de 30 km, ils ont disposé 572 petits filets de feuilles sèches de chêne, d'érable, de bouleau ou d'aiguilles de pin non contaminées par la radioactivité. Neuf mois plus tard, la perte de masse était de 40 % moins importante pour les échantillons déposés dans les zones les plus

contaminées. La radioactivité inhibe donc bien le travail de décomposition des bactéries, des champignons et des insectes, qui recyclent normalement ce matériel en composés chimiques indispensables aux végétaux. "C'est sans doute l'une des raisons de la faible croissance des arbres", explique Timothy Mousseau. Dans les parties les plus contaminées, il ne pousse que de l'herbe et quelques buissons." Ici, les feuilles mortes, amoncelées sur une épaisseur de 16 m, sont une menace: en cas d'incendie, les éléments radioactifs accumulés pourraient se propager jusqu'aux territoires habités. **V.E.**

## LES DANGERS DU SOLAIRE

Les centrales photovoltaïques sont des pièges mortels pour les volatiles. En Californie, un rapport a conclu que le flux solaire concentré par les panneaux réfléchissants grille leurs ailes en plein vol, les précipitant au sol. **F.G.**

## CHEVREUIL ET CLIMAT

Le chevreuil est en déclin: le taux d'accroissement de la population a baissé de 25 % entre 1985 et 2011 dans la forêt de Trois-Fontaines (Marne). Trop en avance, les pousses printanières manquent aux femelles allaitantes, compromettant ainsi l'alimentation des faons. **D.H.**

## L'ARCTIQUE FAIT LA MÉTÉO

La météo de l'hiver européen pourrait être prédite dès septembre... selon le volume des glaces arctiques. Sur plus de 30 années, il a permis de prédire 35 % de la variabilité de la pression atmosphérique au cours de l'hiver qui suivait. **F.G.**

## BOTANIQUE

# Une plante survit à un gel de 1 500 ans

Une mousse antarctique conservée dans les profondeurs du pergélisol pendant au moins 1 530 ans a recommencé à pousser après quelques semaines en incubateur, dans des conditions de luminosité et de température propices à une croissance normale. Cet âge record a été établi par datation au carbone 14 de fragments de plantes adjacentes à la mousse. Jusqu'à présent, la régénération de matière végétale avait été obtenue après vingt ans de congélation au plus. Seules les bactéries avaient prouvé posséder le pouvoir de revenir à la vie après des milliers d'années, une faculté appelée cryptobiose. Cette découverte ouvre la possibilité que des formes de vie complexes, y compris des animaux invertébrés, puissent persister après des hibernations prolongées via ce mécanisme de refuge, et ainsi survivre aux périodes glaciaires. **C.L.**

▽ Après quelques semaines en incubateur, la mousse a repris son développement.



Fonctionnaires  
et agents des services publics

# NOTRE FORCE. AGIR ENSEMBLE

**ADHÉRER À L'ACEF, C'EST REJOINDRE UNE ASSOCIATION CRÉÉE  
PAR ET POUR LES FONCTIONNAIRES ET AGENTS DES SERVICES PUBLICS.**

En rejoignant près de 500 000\* adhérents, bénéficiez d'avantages bancaires grâce à notre partenariat exclusif avec la Banque Populaire, et profitez de nombreuses réductions sur vos achats du quotidien.

\* Chiffre de décembre 2013.

ORTHOPÉDIE

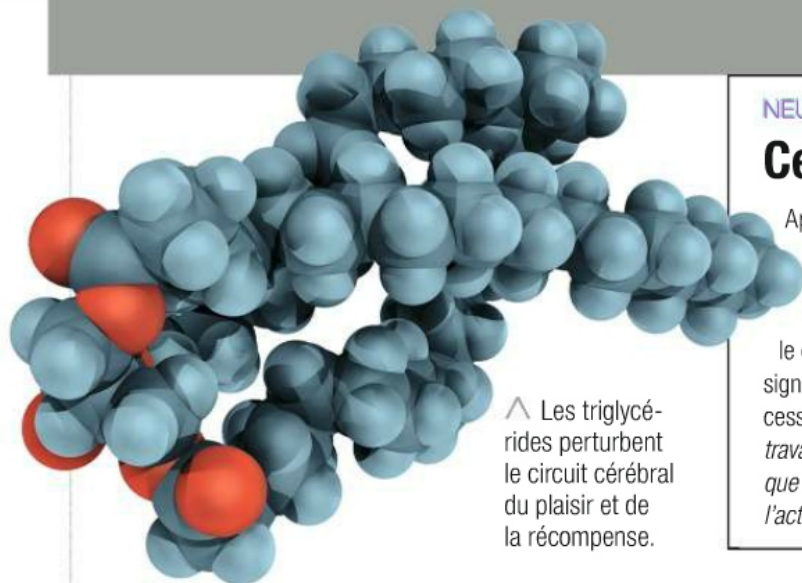
# UNE PISTE CONTRE LA FRAGILITÉ DES OS SE PROFILE

Des chimistes de l'université de Cambridge (Angleterre) ont-ils percé l'un des secrets de la solidité de l'os ? Grâce à des techniques d'imagerie et d'analyse moléculaire, ils ont montré que c'est le citrate, un élément naturellement présent dans l'os, qui lui confère sa résistance et son élasticité. Ils ont observé que le citrate est piégé dans un réseau étroit de cristaux de phosphate de calcium, qui composent l'os, et qu'il se lie à ces molécules. En absorbant de l'eau, il se transforme en fluide visqueux : il sépare alors les cristaux entre eux et les force à s'organiser en disques superposés capables de glisser les

uns sur les autres, conférant souplesse et fermeté à l'ensemble. Sans le citrate, les cristaux s'aggloméreraient en amas rigides très fragiles. Pour les chercheurs, il représente donc un facteur de solidité de l'os... De quoi envisager une nouvelle piste thérapeutique pour lutter notamment contre l'ostéoporose. *"La maladie s'explique dans 70 à 80 % des cas par une diminution de la masse osseuse, et non par sa désorganisation, rappelle Bernard Cortet, rhumatologue au CHU de Lille. Néanmoins, mieux connaître ces phénomènes devrait nous aider à comprendre les cas les plus sévères."*

A.R.

△ La découverte d'un "facteur de solidité" de l'os pourrait aider à combattre l'ostéoporose (ici, du tissu osseux spongieux atteint).



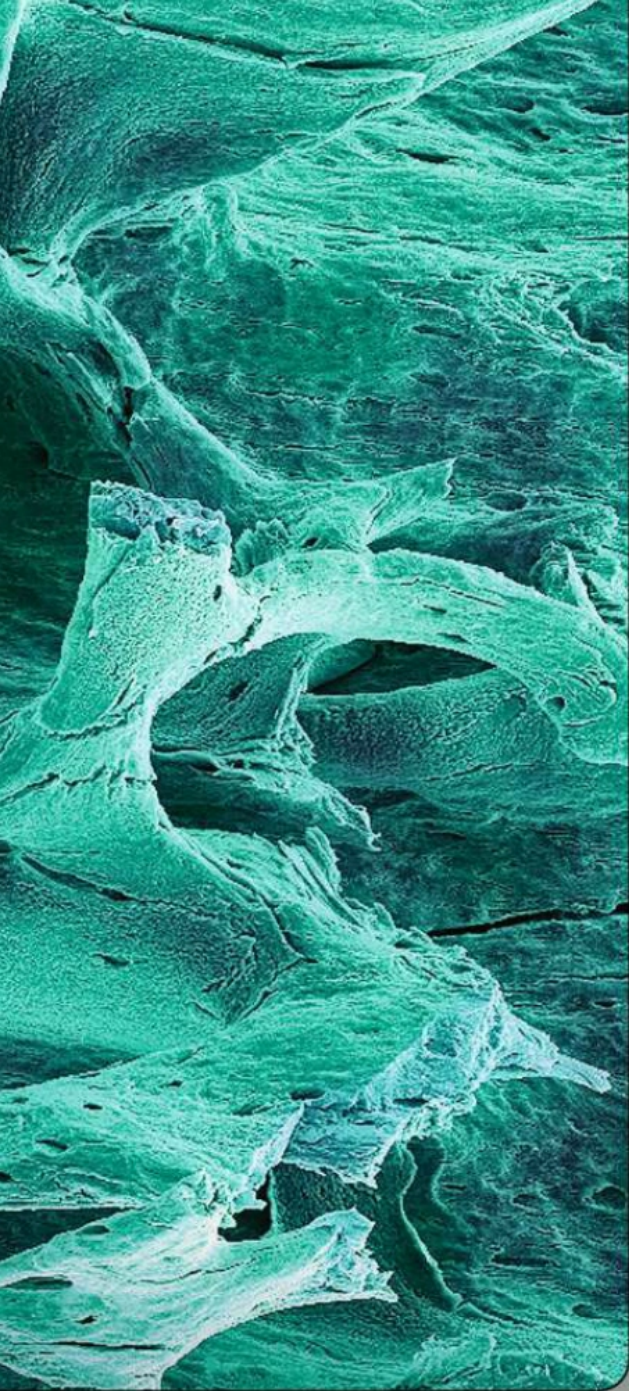
△ Les triglycérides perturbent le circuit cérébral du plaisir et de la récompense.

NEUROLOGIE

## Certaines graisses agissent comme

Après les glucides, les lipides se révèlent aussi être bien plus que de simples sources d'énergie : dans le cerveau, ils font office de signaux impliqués dans le processus de récompense. *"Nos travaux sur la souris montrent que les triglycérides modulent l'action de la dopamine,*

*un neurotransmetteur impliqué dans l'apprentissage, la motivation et le plaisir",* détaille Serge Luquet, du CNRS. Après une perfusion brève leur apportant l'équivalent d'un repas riche, les animaux sont moins attirés par la nourriture grasse. Mais lorsque la perfusion est maintenue, l'attrait pour les aliments



## LE RISQUE D'OBÉSITÉ SE LIT DANS LA SALIVE

Les personnes qui produisent le moins d'amylase salivaire (enzyme servant à digérer l'amidon) ont un risque d'obésité décuplé par rapport à celles qui en sécrètent le plus (étude portant sur 6 200 volontaires). **V.E.**

## THÉRAPIE GÉNÉRIQUE : UN NOUVEL ESPOIR

L'injection, chez la souris, d'un "gène médicament" a permis de prévenir les atteintes cardiaques d'une maladie rare, l'ataxie de Friedreich. Adapter la technique à l'humain est d'ores et déjà envisagé. **O.C.**

## UN REMÈDE ANTIROUGEOLE À L'ESSAI

Chez l'animal, un médicament s'est avéré très efficace contre un virus proche de celui de la rougeole. Il pourrait soigner des enfants infectés faute d'avoir été vaccinés. Cette maladie fait encore 120 000 morts par an dans le monde. **G.T.**

## une drogue

très caloriques est renforcé. "Les apports chroniques de graisses perturbent l'axe de la récompense", reprend le chercheur. Ces travaux dévoilent des mécanismes potentiellement en jeu dans les comportements alimentaires addictifs, entraînant une prise de poids et des dérèglements métaboliques. **O.C.**

✓ La présence d'un troisième chromosome 21 a un impact sur les 22 autres paires.



### GÉNÉTIQUE

## La trisomie 21 affecte le génome entier

Un petit bout d'ADN en plus... et c'est toute l'utilisation du génome par les cellules qui se trouve chamboulée dans le syndrome de Down, également connu sous le nom de trisomie 21. Ce phénomène a pu être détecté en comparant les cellules de deux vrais jumeaux, génétiquement identiques, si ce n'est que l'un des deux possède un troisième chromosome 21. Ce cas extrêmement rare a été étudié par l'équipe de Stylianos Antonarakis (université de Genève, Suisse), qui a découvert que chez le jumeau trisomique, sur tous les chromosomes, des ensembles de 100 à 300 gènes sont soit sous-activés, soit suractivés. "En présence d'un troisième chromosome 21, les régions qui sont en temps normal fortement exprimées le deviennent un peu moins, tandis que les régions faiblement exprimées sont un peu plus activées", décrit le chercheur. Les symptômes de la maladie ne sont donc pas forcément dus à une surabondance des protéines produites par les gènes du chromosome 21, comme on le pensait. "Il s'agit en fait d'une maladie qui touche tout le génome, résume le scientifique. Certes, cela complique sa compréhension. Mais comprendre permettra peut-être d'agir." **V.E.**



< La solution mise au point a permis l'adhésion (résistante à l'eau) de deux morceaux de gel.

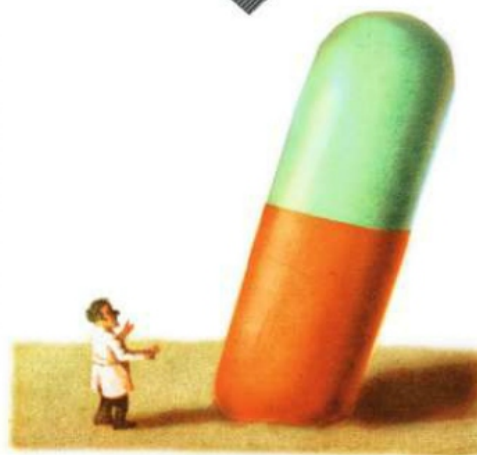
CHIRURGIE

## UNE COLLE DE NANOPARTICULES REFERME LES PLAIES

En quelques minutes, une plaie béante se referme... sous l'action d'une solution aqueuse de nanoparticules de silice ou d'oxydes de fer appliquée avec un pinceau! C'est ce qu'a découvert l'équipe de Ludwik Leibler (CNRS/ESPCI ParisTech) et Didier Letourneur (Inserm/universités Paris-VII et XIII). "Les nanoparticules se lient au réseau moléculaire du tissu, créant une multitude de connexions entre les deux berges de la blessure, qui se referme alors très rapidement et sans cicatrice", décrit Ludwik Leibler. Un procédé qui présente de nombreux avantages. "A la

différence d'une colle chirurgicale, les nanoparticules préservent l'intégrité et les propriétés mécaniques du tissu, aucune matière extérieure n'étant ajoutée. Et contrairement à une suture, on peut les utiliser sur des tissus fragiles, comme les poumons et le foie, qui résistent mal au passage d'un fil et d'une aiguille", détaille Didier Letourneur. Si, pour l'heure, les essais se limitent encore à l'animal, des tests sur l'homme sont envisagés en chirurgie, en médecine d'urgence, et peut-être même pour soigner soi-même les petites blessures.

C.H.



## L'éradication de l'hépatite C a un prix... exorbitant!

L'année 2014 aurait pu être marquée par le lancement d'une grande campagne européenne d'éradication du virus de l'hépatite C, le VHC, qui touche environ 9 millions d'Européens. En effet, pour la première fois, la médecine s'estime capable d'en triompher grâce à de toutes nouvelles molécules (sofosbuvir, siméprévir, daclatasvir, lédipasvir). Avec 100 % de guérison et très peu d'effets indésirables, ces traitements ont convaincu la Société européenne pour l'étude du foie qu'il était possible d'éradiquer le virus du continent. Comment? En dépistant systématiquement les personnes exposées, et en les traitant avec ces molécules, même en l'absence de symptômes immédiats. En France, pourtant, des médecins hésitent à se lancer dans cette grande campagne et à prescrire ces nouveaux médicaments arguant... de leur prix: 90 000 € en moyenne. Un problème bien connu des pays du Sud qui, lorsqu'ils souhaitent éradiquer une maladie infectieuse, butent souvent sur le coût prohibitif des médicaments. Mais en France et en Europe, une telle situation est beaucoup plus inédite. Les autorités sanitaires sauront-elles renégocier les prix des traitements? Il est certain, en tout cas, qu'il faudra en passer par là pour laisser une chance à l'éradication.

R.P.



Way of Life!

**Encore une bonne journée...**  
Et c'est comme ça tous les jours.



# NOUVEAU **SX4** **S-CROSS**

Plus qu'une voiture, un état d'esprit.

Jusqu'au 30 juin, profitez de :

**5 ANS**  
**d'ENTRETIEN + GARANTIE + ASSISTANCE**

Jusqu'à 2700 € d'avantages offerts<sup>(1)</sup>

Offre non cumulable avec d'autres remises en cours.

Modèle présenté : Suzuki S-Cross 1.6 WT Pack : 22 290 € + peinture métallisée 530 €. Consommations mixtes CEE gamme Suzuki S-Cross (l/100km) : 4,4 - 5,7. Emissions CO<sub>2</sub> (g/km) : 114 - 130. (1) Offre 5 ans garantie, entretien et assistance : Contrat « Premium Club » 5 ans comprenant l'entretien, selon les préconisations Suzuki (hors pneumatiques), l'extension de garantie (au terme de la garantie constructeur) et l'Assistance 24/24, kilométrage illimité. Voir modalités de souscription, conditions générales et exclusions disponibles sur simple demande en concession. Offre valable pour les véhicules S-Cross essence et S-Cross Diesel, d'une valeur totale de contrat tarif public respectivement de 2 217 € TTC et 2 706 € TTC. Les prestations panne mécanique et Assistance sont gérées par la société Opteven Assurances : Société d'assistance au capital de 5 335 715 euros - Siège social : 35-37 Rue Louis Guérin 69100 VILLEURBANNE - RCS Lyon n°379 954 886. Les prestations d'entretien sont gérées par Opteven Services : SA au capital de 365 878 euros - Siège social : 35-37 Rue Louis Guérin 69100 VILLEURBANNE RCS Lyon. 333 375 426. Les prestations Pannes Mécaniques et l'Assistance Opteven Assurances peuvent être souscrites indépendamment, à des conditions disponibles auprès d'Opteven Assurances ; de même les prestations Entretien peuvent être souscrites indépendamment, à des conditions disponibles auprès d'Opteven Services. Offre non cumulable avec d'autres remises en cours. Offre promotionnelle valable pour toutes commandes d'un S-Cross neuf jusqu'au 30/06/2014, chez les concessionnaires participants, dans la limite des stocks disponibles. Offres réservées aux particuliers, en France métropolitaine, non cumulable avec d'autres remises en cours. Tarif au 01/04/2014. \*Way of Life! Un style de vie ! [www.suzuki.fr](http://www.suzuki.fr)



△ Transformée en capteur chimique grâce à des nanotubes, cette plante émet un signal fluorescent quand elle détecte des polluants.

NANOMATÉRIAUX

## LES PREMIÈRES PLANTES BIONIQUES ONT VU LE JOUR

Et si l'on dopait la photosynthèse des plantes en vue de concevoir, un jour, des panneaux solaires plus performants ? C'est avec cet ambitieux objectif en tête qu'une équipe américaine du MIT est parvenue à "greffer" des nanotubes de carbone dans des plantes. *"Selon notre hypothèse, ces nanostructures peuvent absorber la lumière du soleil dans un spectre*

*plus large que les plantes à l'état naturel, allant des infrarouges aux ultraviolets",* explique Markita Landry. Implantés à l'intérieur même des cellules végétales, les nanotubes de carbone augmentent les réactions de photosynthèse de 30 %. L'équipe a reproduit l'expérience avec d'autres nanotubes, capables de signaler, par fluorescence, la présence

de polluants dans l'air. Ainsi transformées, ces plantes "nanobioniques" pourraient servir, d'ici quelques années, de biocapteurs pour détecter toxines ou pesticides. Les chercheurs imaginent aussi des matériaux fabriqués à partir de ces plantes, capables de se réparer eux-mêmes en utilisant la photosynthèse comme source d'énergie et de matière. **L.B.**

ÉNERGIE

## L'électricité statique fait tourner un générateur

Des chercheurs chinois ont mis au point un prototype de générateur qui collecte l'électricité statique engendrée par le frottement entre deux matériaux. Le système consiste en un assemblage de plusieurs disques faits de différents matériaux : *via* une action mécanique extérieure (force du vent, de l'eau, action manuelle...), l'un de ces disques entre en rotation en frottant sur les autres. Ce phénomène crée une charge électrostatique, qui est recueillie par des électrodes. Testé en laboratoire, le générateur a permis d'alimenter des ampoules électriques ou de recharger un téléphone. Si le prototype ne mesure que quelques dizaines de centimètres, les chercheurs envisagent un projet à plus grande échelle basé sur cette même technologie. **S.D.**

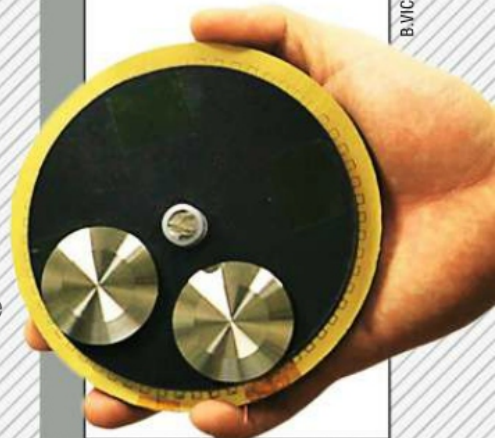
B. VICKMARK/MIT - GUANG ZHU-ZHONG LIN WANG/BEIJING UNIV. OF NANOMATERIALS & NANOSYSTEMS/GEORGIA TECH

RÉNOVATION

## Un gélifiant naturel va nettoyer les façades des monuments

Pour rendre leur éclat aux monuments rapidement et, surtout, sans risquer de les abîmer, des chimistes italiens ont testé une nouvelle méthode : ils appliquent à leur surface une préparation à base d'agar-agar, ce gel que l'on trouve dans certaines préparations culinaires. Il adhère facilement à la pierre, y compris aux parties sculptées les plus fines. Et grâce à sa structure poreuse, il absorbe, telle une éponge, les sels et la suie incrustés. Une démonstration grandeur nature de son efficacité vient d'être réalisée sur la cathédrale de Milan. **L.B.**

> Ce générateur a délivré une puissance maximale de 1,5 W, avec un rendement de 24 %.





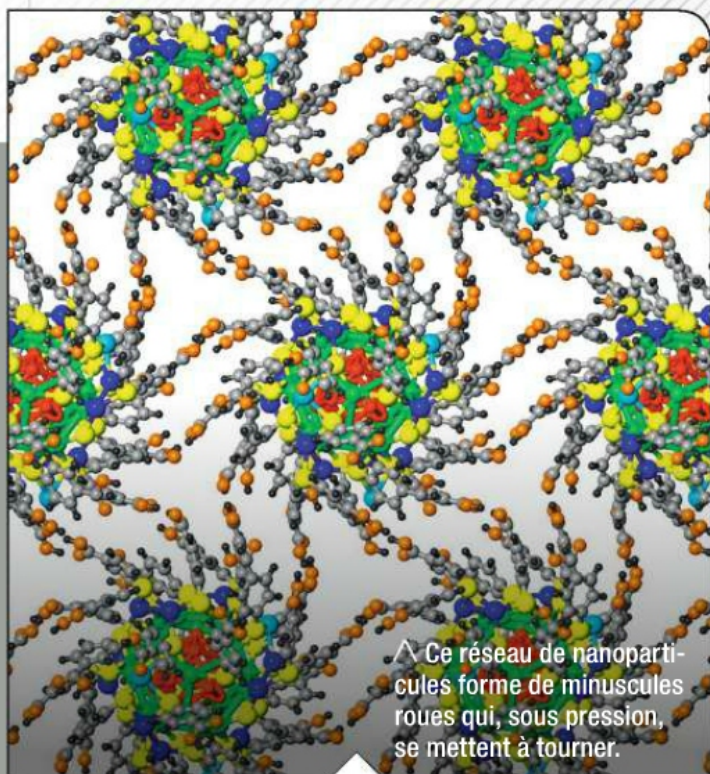
*Il n'y a*  
**PAS DE**  
**MIRACLE,**  
**IL FAUT**  
**DES HOMMES**  
*pour*  
**PROTÉGER**  
*les*  
**MIRACLES.**

 BETC RCS Thonon-Hier-Bolme 797 080 850

*L'eau d'evian prend sa source au cœur des Alpes millénaires, sur un site géologique unique au monde. Pendant plus de 15 ans, elle chemine à travers les roches et s'enrichit en éléments minéraux essentiels. Naturellement pure, à l'équilibre minéral unique et constant, elle ne subit aucun traitement et n'est jamais touchée par la main de l'Homme. Pour préserver la qualité exceptionnelle de cette eau, les Hommes protègent depuis plus de 20 ans la nature autour*

*de la source. Grâce à l'Association de Protection de l'Impluvium de l'Eau Minérale d'evian (APIEME), les agriculteurs et éleveurs se sont engagés aux côtés des minéraliers dans la mise en œuvre de pratiques agricoles innovantes respectueuses de l'environnement. Ce travail a été récompensé par la Convention de Ramsar, partenaire de l'Unesco. Venez découvrir evian et ceux qui la protègent sur [evian.fr](http://evian.fr) et en nous rendant visite directement à la source.*

**LES EAUX MINÉRALES NATURELLES DANONE : CRÉÉES PAR LA NATURE, PROTÉGÉES PAR L'HOMME.**

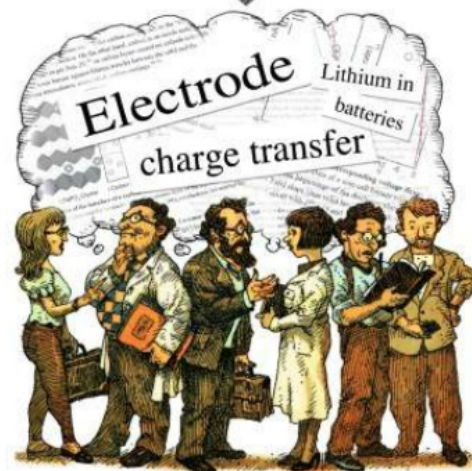


NANOPARTICULES

## COMPRIMÉ, UN MATÉRIAU ACTIVE SES "ENGRENAGES"

*"La nature nous a réservé une belle surprise!", s'exclame Uzi Landman. En étudiant les propriétés d'un réseau de nanoparticules d'argent et de molécules organiques, ce physicien du Georgia Tech (Etats-Unis) et son équipe ont découvert qu'il était structuré comme un réseau d'engrenages: les nanoparticules s'assemblent en formant de minuscules roues capables de tourner les unes par rapport aux autres. "Nous avons d'abord constaté que le réseau était en grande partie composé... de vide, relate le chercheur. Nous avons donc étudié ses propriétés mécaniques,*

*et c'est là que nous nous sommes aperçus que lorsqu'on appliquait une pression, les nanoparticules se mettaient à tourner collectivement, les liaisons hydrogène qui les lient faisant office de charnières." De quoi imaginer un matériau antichoc qui se comprimerait sous l'effet des pressions subies avant de reprendre sa forme initiale. "Ou encore, de minuscules machines électroniques, ajoute Uzi Landman. Car en connectant les nanoparticules d'argent à un circuit électronique, on pourrait facilement commander leur mouvement."* **M.F.**



## Nos batteries pourraient être bien plus efficaces

Et si nos batteries recelaient des ressources insoupçonnées? En modélisant le fonctionnement des batteries lithium-ion (celles qui équipent nos téléphones et ordinateurs), une équipe du MIT (Etats-Unis) s'est aperçue que leur puissance et leur capacité de stockage ne semblent pas optimisées.

*"Les batteries sont conçues à partir d'une hypothèse de base: la puissance qu'elles peuvent fournir est limitée par la vitesse à laquelle les ions lithium [particules chargées électriquement] passent de l'une des deux électrodes à l'électrolyte [solution conductrice], explique Peng Bai, qui a mené l'étude. Or, en étudiant l'activité d'une batterie au niveau atomique, nous avons réalisé qu'au contraire, le principal frein à la circulation des charges se situe au niveau de l'électrode." Ainsi, au lieu de chercher à optimiser les échanges d'ions, il faudrait plutôt améliorer le transfert des électrons dans les électrodes elles-mêmes, en particulier entre le matériau actif qui les constitue et la couche de carbone qui les protège. L'étude ne permet pas de prédire quelle puissance pourrait être gagnée avec une meilleure architecture. Pour cela, il faudra revenir à l'empirisme et à la paillasse!* **M.F.**



*Nous sommes dans les petits plats d'Eva.*

Et dans de très nombreux produits de votre quotidien élaborés à base d'huiles entièrement végétales.

**NOUS**  
**225 000**  
**AGRICULTEURS**  
**ÉLEVEURS ET**  
**INDUSTRIELS**

**Développons** des  
produits quotidiens  
basés sur les  
bienfaits des huiles  
végétales.

**Respectons**  
l'équilibre et l'harmonie  
de la nature.

**Contribuons** à l'essor  
économique et  
l'emploi en France.



**Terres**  
**OléoPro**

La filière française des huiles et protéines végétales

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



## Succès de Candy Crush Saga Pourquoi ce jeu engendre-t-il une telle addiction ?

### Le rappel des faits

**En avril 2012**, l'éditeur irlandais King lance le jeu Candy Crush Saga sur le réseau Facebook et, sept mois plus tard, sur smartphone.

**En 2013**, le chiffre d'affaires de l'entreprise culmine à 1,4 milliard d'euros (11 fois plus qu'en 2012) ; 75 % de ce montant est associé à Candy Crush Saga, qui compte 93 millions d'utilisateurs chaque jour.

**En mars 2014**, porté par l'incroyable succès de Candy Crush Saga, King s'introduit à Wall Street. Sa capitalisation boursière dépasse les 4 milliards d'euros.

Lancé il y a deux ans sur Facebook et sur smartphone, le jeu Candy Crush Saga, qui consiste à aligner des petits bonbons acidulés, a été téléchargé plus de 500 millions de fois. Qui n'a pas un ami, un enfant, un collègue qui s'y adonne dès qu'il a cinq minutes de liberté...

Comment expliquer cet incroyable engouement, notamment chez les femmes ? Il y a sans doute une grande part de chance, celle d'être arrivé à un moment où aucun autre jeu n'écrasait la concurrence. Son design coloré, qui renvoie à l'enfance, y est aussi certainement pour beaucoup.

Mais il n'y a pas que cela. Candy Crush Saga séduit les foules grâce à un savant dosage de simplicité des règles et de complexité mathématique sous-jacente, une capacité à jouer avec les mécanismes cérébraux de la

récompense, ainsi qu'un solide profilage du comportement des joueurs.

Soucieux de protéger ses secrets de fabrication, l'éditeur du jeu, King, a décliné nos demandes d'entretien, se contentant de nous adresser un bref e-mail. Nous nous sommes donc tournés vers des spécialistes réputés de l'industrie du jeu vidéo afin de décrypter les ressorts d'un tel succès.

### UN JEU PLUS SOPHISTIQUE QU'IL N'Y PARAÎT

Ce jeu est ce qu'on appelle un *casual game*, un jeu occasionnel. Celui qu'on pratique sur son téléphone pour passer le temps, dans une salle d'attente, une queue interminable ou les transports en commun.

C'est aussi une belle démonstration du modèle économique du *free-to-play*, qui bouleverse l'industrie

du jeu vidéo depuis 2010 : tout le monde peut jouer sans bourse délier, mais s'y adonnera plus longtemps en acceptant de temps à autre de dépenser quelques dizaines de centimes d'euro.

La première raison du succès de Candy Crush Saga réside sans doute dans sa simplicité : le joueur doit aligner des bonbons sur une grille pour marquer des points et passer au niveau supérieur. *"Une simplicité débile"*, disent, unanimes, les créateurs de jeux vidéo indépendants rencontrés à Paris lors de la 7<sup>e</sup> édition de l'événement Pitch My Game.

Cette simplicité n'est toutefois qu'apparente. *"Il ne faut pas avoir de vision caricaturale, ce jeu est beaucoup plus sophistiqué qu'on pourrait le croire"*, proteste Raph Koster, l'un des créateurs les plus respectés aux États-Unis, désigné "légende



### DES RÈGLES SIMPLES

Aligner des bonbons, c'est *a priori* basique. Sauf que la grille cache des mathématiques complexes qui entraînent un comportement compulsif : on croit pouvoir gagner... mais on n'y arrive pas.

### DES BONUS PAYANTS

Pour continuer à jouer, le joueur se voit proposer d'attrayants bonus... pour quelques dizaines de centimes. La boucle de réussite et de plaisir dans laquelle il se trouvait est brutalement interrompue, sauf s'il paie.

### UN PROFILAGE SOLIDE

Mouvements, boutons cliqués, vitesse d'exécution... tout est analysé afin d'adapter le jeu au profil de chaque joueur, pour mieux le captiver.

du jeu vidéo en ligne" par ses pairs il y a deux ans. Sa grille de jeu repose sur des mathématiques beaucoup plus complexes que *Call of Duty*, par exemple, l'un des jeux les plus respectés dans le milieu. Un niveau que les spécialistes qualifient de NP-difficile."

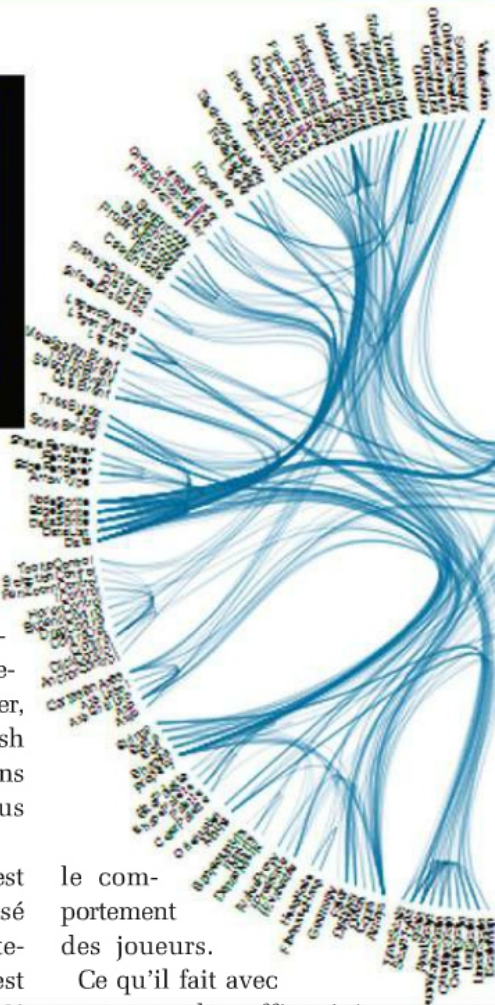
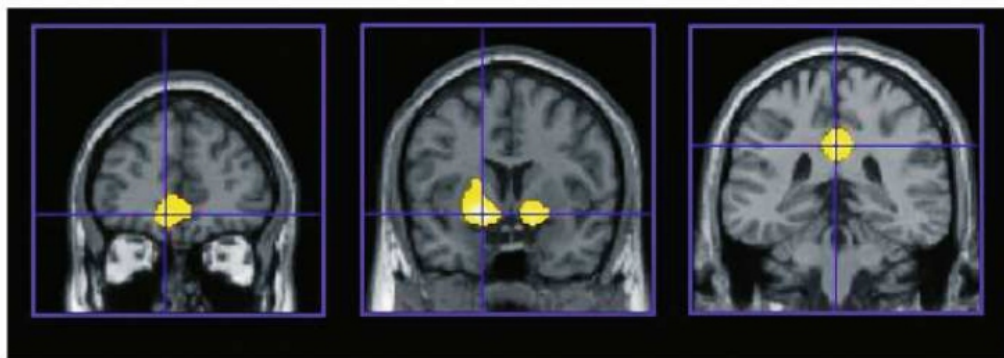
Une difficulté analogue à celle du célèbre problème du voyageur de commerce, qui consiste à déterminer

le trajet le plus court reliant un ensemble de villes sans passer deux fois par la même. "On retrouve ce niveau de complexité dans des puzzles comme *Tetris* ou *Bejeweled*, poursuit Raph Koster. Ces jeux NP-difficiles sont réputés entraîner de la compulsivité : ils paraissent si simples qu'on croit pouvoir les résoudre facilement... alors qu'on n'y arrive jamais !"

L'éditeur s e m b l e aussi avoir trouvé des ingrédients pour doper la motivation des joueurs. Selon le spécialiste, celle-ci repose sur plusieurs mécanismes cérébraux. "Il y a ce qu'on appelle le 'flow', l'état mental du joueur quand l'immersion dans le jeu est totale ; il dépend d'un juste équilibre entre le niveau

de difficulté et son propre niveau de compétence.

De plus, le plaisir de jouer dépend de la manière dont les rouages de la récompense sont activés dans le cerveau. Le jeu libère en effet de la dopamine, une molécule associée à la sensation de plaisir... non seulement une fois qu'on a gagné, mais aussi par anticipation !"



→ Douglas Alves, qui enseigne l'histoire du jeu vidéo à l'Isart Digital de Paris, confirme: *"C'est en distillant régulièrement des microrécompenses au fil du jeu qu'on va accrocher le joueur. Si on lui procure trop de plaisir en une seule fois, il décrochera."*

Pour le Canadien Benjamin Devienne, responsable de la monétisation – l'art d'inciter les joueurs à dépenser de l'argent au fil du jeu – chez l'éditeur français Gameloft et enseignant à l'Isart Digital de Montréal, cette bonne gestion des mécanismes de la récompense est une clé de la réussite économique de Candy Crush Saga. *"Le jeu place*

*le joueur dans une boucle de réussite et de plaisir, puis l'interrompt brutalement en lui proposant de payer pour poursuivre l'expérience"*, résume-t-il.

#### DE FINES ANALYSES COMPORTEMENTALES

Une méthode qui mène parfois à des comportements extrêmes, confie un éditeur sous couvert d'anonymat: *"Dans le monde du casual game, les joueurs les plus dépensiers sont appelés des 'baleines'. Ils peuvent déboursier jusqu'à 40 000 euros par an. Ceux qui dépensent 8 000 euros ne sont pas rares."*

Si King reste discret sur le comportement de ses

clients, il suffit de lire la note adressée en février dernier aux autorités boursières américaines pour comprendre le caractère addictif de son jeu vedette: en décembre dernier, chaque jour, Candy Crush Saga mobilisait 93 millions d'utilisateurs, pour plus d'un milliard de parties!

Enfin et surtout, le jeu est régulièrement réactualisé en fonction du comportement des joueurs, qui est étudié très finement. Si King affirme, dans le message qu'il nous a adressé, *"ne pas employer de psychologue"*, l'éditeur explique qu'il analyse les données recueillies au cours des parties pour en déduire

le comportement des joueurs.

Ce qu'il fait avec une grande efficacité, semble-t-il. *"Il y a vingt ans, les éditeurs s'appuyaient sur des données démographiques pour cibler les joueurs, raconte Benjamin Devienne. Mais le caractère divertissant d'un jeu est*

## Le plaisir de jouer se voit physiquement

De plus en plus, les éditeurs de jeux ont recours à des études pour mieux comprendre le comportement des joueurs et les émotions ressenties, explique Nicole Lazzaro, à la tête de Xeo Design, une entreprise californienne qui conseille les éditeurs depuis 22 ans: *"On observe par exemple les microcontractions des muscles faciaux, la transpiration, l'activité électrique cérébrale ou le rythme cardiaque du joueur, grâce à des capteurs comme ceux conçus par Emotiv (photo) ou Neurosky."* Ces observations sont complétées par des entretiens. *"C'est ainsi qu'on peut développer la motivation des joueurs en influant sur leurs émotions. Mais ces études ont des limites: si on peut déterminer, parmi deux jeux, lequel suscite le plus d'émotions, on ne sait pas expliquer pourquoi! Il y a une grande part de chance dans le succès d'un jeu."*

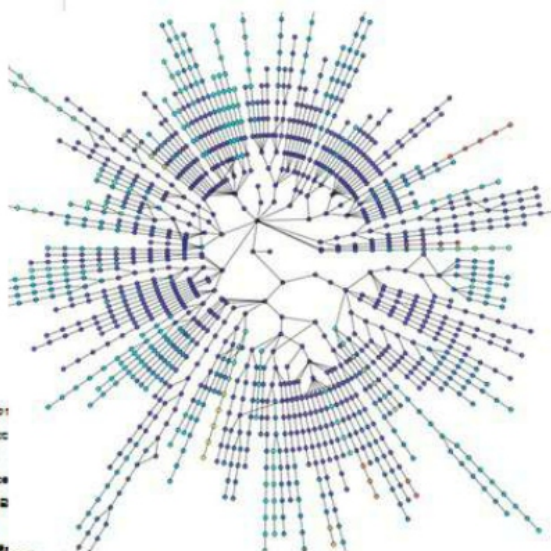




davantage  
lié à la person-  
nalité du joueur.”

Le jeune homme est notamment spécialiste de *data science*, l'analyse des données produites – à leur insu – par les joueurs. Des données transmises à de puissants serveurs informatiques équipés de bases de données et d'outils d'analyse. “Il suffit d'écouter le message transmis en code morse depuis le Titanic pour comprendre que l'opérateur radio était dans un état de panique. De la même manière, l'analyse du comportement des joueurs renseigne l'éditeur sur leur état, et permet d'adapter le jeu en conséquence”, explique-t-il.

Dans une partie de Candy Crush Saga, le moindre geste est enregistré. “Le logiciel scrute les mouvements, les boutons cliqués, la vitesse d'exécution, les



**BENJAMIN DEVIENNE**  
Spécialiste  
de *data science*  
chez  
Gameloft

*Dans deux ans,  
n'importe quel  
créateur pourra  
adapter son jeu  
au profil du joueur  
en temps réel*

### LA DATA SCIENCE PERMET DE CIBLER CHAQUE JOUEUR

L'analyse des données produites par les joueurs (représentées graphiquement ci-dessus) permet d'adapter le jeu afin d'activer les différentes zones cérébrales de la récompense (à g., en jaune).

lieux visités, etc., détaille Benjamin Devienne. Ces données permettent d'établir des catégories – des écosystèmes – d'utilisateurs. Les incitations à acheter sont ensuite ciblées en fonction de ces profils.”

De la même manière, si un joueur est connecté à Facebook, l'éditeur pourra cibler son réseau d'amis: “On peut, par exemple, repérer les personnes les plus influentes d'un réseau social pour cibler la publicité. Un leader d'opinion suscitera l'adhésion au jeu de nombreux membres de son groupe, sans qu'un seul centime soit dépensé pour les recruter.”

Pour l'instant, ces données permettent d'adapter le jeu en profitant des fréquentes mises à jour – une par mois en moyenne. L'éditeur peut ainsi tester de nouvelles recettes pour encourager à acheter... quitte à corriger le tir quelques semaines plus tard si nécessaire.

“Nous n'en sommes qu'au tout début de la *data science*; les éditeurs s'arrachent encore les spécialistes et incitent les universités à créer des formations. Mais dans deux ans, grâce aux nouveaux outils, n'importe quel créateur pourra adapter son jeu au profil du joueur en temps réel”, prédit Benjamin Devienne. Vous voilà prévenus. **D.Dq.**

### Aller plus loin

- Une conférence de B. Devienne : Terreurs et merveilles des mondes virtuels, <http://tedxudem.com/enregistrements/>
- Le site de Candy Crush Saga : <http://www.candycrushsaga.com>
- Le site de Raph Koster (en anglais) : <http://www.raphkoster.com>
- Les typologies de jeu vues par Xeo Design : <http://www.xeodesign.com/research.html>



## Affaire Snowden

# Comment espionne-t-on les câbles du Net ?

### Le rappel des faits

**Le 6 juin 2013,** Edward Snowden révèle que les Etats-Unis espionnent les échanges téléphoniques et les flux internet au niveau mondial.

**Fin 2013,** le quotidien britannique *The Guardian* estime que la NSA aurait reçu jusqu'à 21 pétaoctets (milliards de mégaoctets) de données par jour, l'une des plus grosses récoltes de l'histoire de l'espionnage.

**En avril 2014,** le sommet NetMundial de São Paulo (Brésil) cherche à réduire l'influence des Etats-Unis sur la gestion du Net.

Les câbles de fibre optique, au cœur formé de canaux de silice de quelques micromètres, assurent la quasi-totalité des échanges mondiaux à haut débit (une dizaine de téraoctets par seconde). Une cible de choix pour les espions du Net. A ceci près qu'ils sont difficiles à pirater. *"La fibre optique ne rayonne pas: le signal reste canalisé à l'intérieur. Il est donc difficile à intercepter, contrairement aux transmissions hertziennes"*, explique Didier Erasme, enseignant-chercheur à Télécom ParisTech.

Difficile, mais pas impossible, selon un rapport du cabinet d'études IDC. Pour Romain Fouchereau, son auteur, il existe même trois méthodes pour espionner des fibres optiques.

La première: insérer un dispositif sur la fibre pour détourner une partie du flux. Le moindre segment du signal contient en effet 100 % de l'information qu'il contient. Comme les données sont transcrites en modulations d'intensité et de fréquence, l'information est conservée quelle que

soit la proportion du signal capté. Ce qui permet de n'en "prélever" qu'une faible portion et de passer inaperçu. Mais cette méthode nécessite de couper la fibre et d'interrompre son flux durant quelques secondes... au risque d'être repéré.

Autre possibilité, sans avoir à sectionner la fibre: exploiter un phénomène physique appelé "diffusion de Rayleigh", par lequel une infime partie du signal lumineux diffuse dans la silice et s'en échappe naturellement. On peut récolter cette diffusion en dénudant la fibre et en l'entourant d'un puissant photodétecteur.

Troisième option, toujours sans coupure: dénuder et incurver fortement la fibre pour perturber la réflexion du signal lumineux et provoquer une émission de lumière vers l'extérieur, récupérée de la même façon. Une fois le signal détourné, un simple démodulateur (comme ceux qui équipent les habitations reliées à la fibre) permet de traduire ces informations lumineuses en données intelligibles. Mais toutes ces techniques

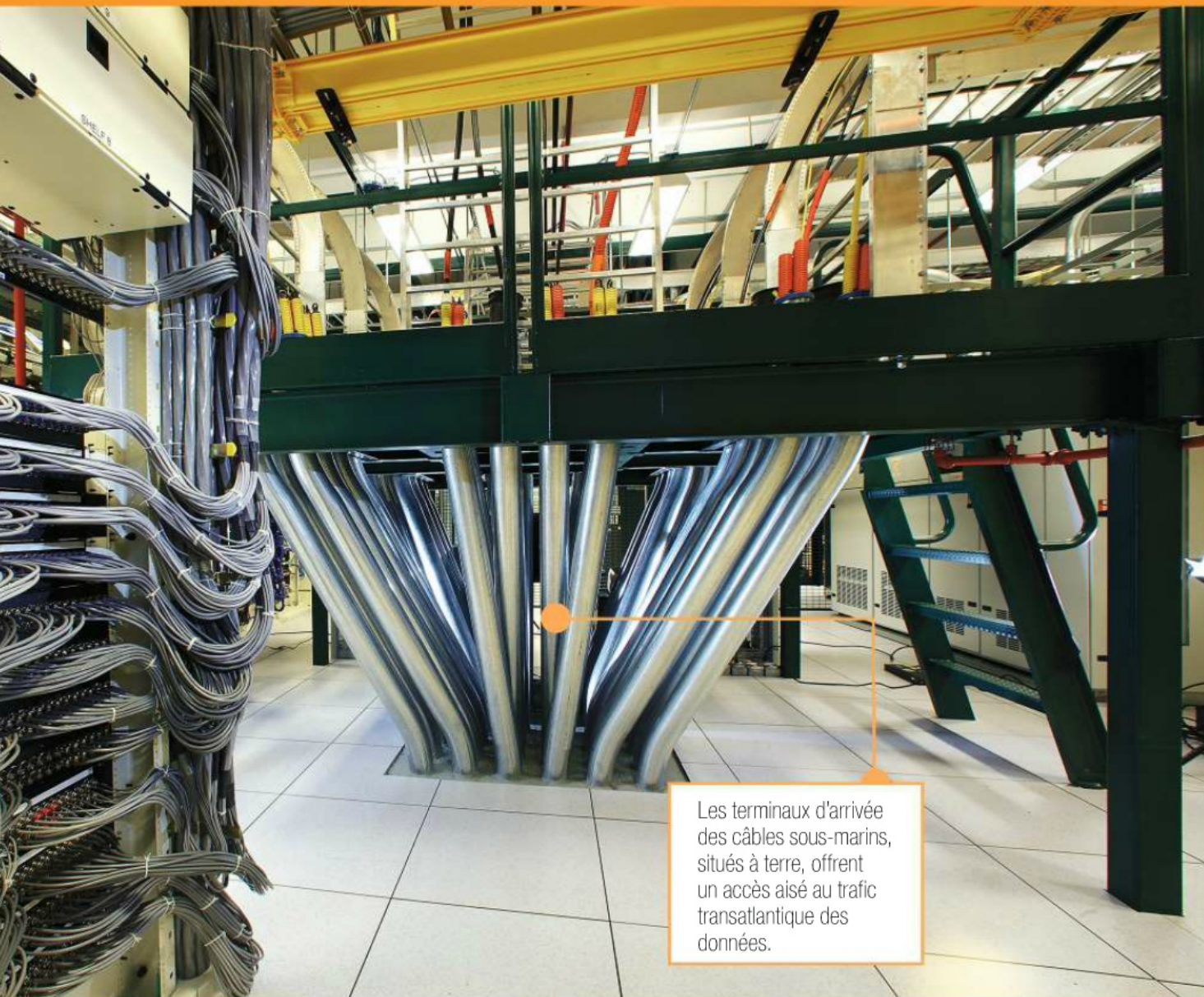
reposent sur une même condition préalable, et pas des moindres: pouvoir accéder aux câbles.

### UNE COMPLICITÉ INTERNE

On dénombre à ce jour près de 300 câbles sous-marins en fibre optique reliant les différentes parties du monde. Le premier, TAT-8, fut tendu entre l'Amérique et l'Europe en 1988. Le plus long, raccordant le nord de l'Europe à l'Asie du Sud-Est, s'étend sur 39 000 km.

Le problème pour les espions, c'est que ces câbles sont immergés, jusqu'à





Les terminaux d'arrivée des câbles sous-marins, situés à terre, offrent un accès aisé au trafic transatlantique des données.

8000 mètres de profondeur. A proximité des côtes (à partir de 1500 mètres de profondeur), ils sont enterrés pour les protéger des chaluts et des ancres qui raclent les fonds marins.

Comment l'agence nationale de renseignement américaine NSA y a-t-elle accédé? *"Je ne crois pas que des espions aient pu sectionner un câble et s'y connecter sans être détectés. Ils ont dû aller se brancher sur des dispositifs de dérivation, directement dans les terminaux d'arrivée"*, estime Didier Erasme. Ces

bâtiments, situés à proximité de la côte, recueillent les fibres pour les connecter au réseau. Certains abritent plusieurs câbles concentrant toutes les communications qui transitent d'un continent à un autre, comme celui de Bude, dans le sud du Royaume-Uni, qui en regroupe sept.

Une vraie caverne d'Ali Baba pour des voleurs du numérique. D'autant que ces centres disposent d'équipements conçus dès l'origine pour détourner une partie du signal afin de permettre aux opérateurs d'ana-

lyser sa qualité. Ces dispositifs de maintenance auraient simplement été dévoyés par les espions pour accéder aux flux et les enregistrer en toute discrétion. *"Il faut obligatoirement une complicité interne, ou un accord avec les autorités locales"*, estime Didier Erasme.

Selon Edward Snowden, ex-agent de la CIA et de la NSA, cette dernière et son homologue britannique, le GCHQ, ont sommé les opérateurs, propriétaires des câbles et des terminaux, de coopérer et de leur donner l'accès aux sites. Sollicité,

Orange, coadministrateur de câbles sous-marins, n'a pas répondu à notre demande.

*"Comme il est impossible de contrôler l'ensemble du réseau, la seule solution préventive consisterait à protéger l'information en la cryptant avant de l'envoyer dans les câbles"*, estime Romain Fouchereau dans son rapport. Une parade efficace, mais coûteuse, et donc pas encore déployée à grande échelle, alors que les programmes d'écoutes de la NSA et du GCHQ sont toujours actifs.

P.-Y.B.



# Polémique après le tirage au sort de la Coupe du monde de football

## Le climat peut-il influencer sur les résultats ?

Le tirage au sort en a décidé ainsi. Toutes les équipes n'auront pas la chance de jouer la Coupe du monde dans des conditions climatiques favorables. Même si la compétition se déroule durant l'hiver au Brésil, il règne dans le nord du pays

un climat tropical où chaleur et humidité restent élevées toute l'année.

A Manaus, par exemple, en juin, la température moyenne avoisine les 30 °C, avec un taux d'humidité supérieur à 80 %. Avec quelles conséquences pour les joueurs italiens, suisses ou anglais qui devront y jouer certains de leurs matchs ?

La chaleur, associée à l'humidité, forme un cocktail explosif qui enraye le mécanisme de thermorégulation corporelle. Pour essayer de maintenir sa température à 37 °C, l'organisme transpire. C'est l'évaporation de cette sueur qui lui permet de se refroidir.

Or, si l'air est déjà chargé en humidité, l'eau ne s'évapore pas correctement et colle à la peau. Le corps ne se refroidit plus et sa température augmente. Des études, effectuées dans des conditions similaires à celles que rencontreront les joueurs au Brésil, ont déjà montré



Chaleur et humidité perturbent le mécanisme de thermorégulation : le corps ne se refroidit plus. Sa température peut atteindre 40 °C, ce qui provoque crampes, nausées et évanouissements.

qu'elle peut atteindre 40 °C en plein match.

*"Jouer dans ce contexte est dangereux pour la santé, alerte Vincent Gouttebauge, responsable médical de la Fifpro, le syndicat international des joueurs. Ils risquent des crampes, des nausées, des problèmes de coordination musculaire, des pertes de connaissance."*

### UN MATCH AU RALENTI

De quoi leur faire perdre un match ? Andy Marc, analyste de la performance à l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport, ne le pense pas : *"Les deux équipes débutent le match dans les mêmes conditions. L'écart se creuse ensuite avec la fatigue. Mais, au final, c'est la qualité technique qui fait la différence dans ce genre de*

*sport, avant les conditions climatiques, qui ont plus d'impact sur un marathonien, par exemple."*

En revanche, cette accumulation de fatigue va rejaillir sur la qualité du spectacle. Les joueurs parcourront moins de distance, feront moins de percées fulgurantes... Un match au ralenti, en somme.

La Fifa a donc accepté de décaler des coups d'envoi et d'instaurer des pauses au cours de chaque mi-temps pour permettre aux joueurs de se désaltérer si la température dépasse 32 °C. Un moyen de refroidir le corps et de compenser les importantes pertes hydriques.

Les équipes mettent également toutes les chances de leur côté pour affronter ces conditions difficiles.

### Le rappel des faits

En octobre 2007, le Brésil est désigné pays organisateur pour la deuxième fois depuis 1950.

En mai 2009, sont dévoilées les 12 villes hôtes, dont certaines ont un climat tropical.

En décembre 2013, après le tirage au sort, des entraîneurs manifestent leur inquiétude : la Fifa décale alors l'horaire de certains matchs.

En février 2014, la Fifa accepte la mise en place de pauses "eau".



*“Nous sommes mieux préparés scientifiquement qu’il y a 20 ans, explique Roland Grossen, médecin de l’équipe suisse. Nous avons des vestes rafraîchissantes qui permettent de réguler la température corporelle, et des boissons adaptées.”*

Les joueurs arriveront une semaine à l’avance pour s’acclimater et s’entraîneront avec des vêtements humides afin de s’habituer au poids des maillots. Roland Grossen rassure : *“Ce sont des conditions inhabituelles, mais pas exceptionnelles. Le tout est d’éviter d’être surpris.”*

En ce qui concerne la France, pas d’inquiétude à avoir : elle jouera davantage dans le sud du pays, où les températures devraient varier de 15 à 25 °C. Soit des conditions optimales pour jouer au football.

L.G.



## Des fouilles policières ordonnées après des “prédictions radiesthésistes”

# Les sourciers ont-ils de réels pouvoirs ?

Aujourd’hui encore, des sourciers affirment pouvoir détecter, grâce à une baguette ou un pendule, des sources d’eau souterraines et toutes sortes d’objets cachés.

Des prétentions qui ont bénéficié, à partir des années 1960, de l’appui du célèbre physicien Yves Rocard. Selon lui, la partie de la sourcellerie qui vise à détecter des sources d’eau pourrait s’expliquer rationnellement.

Les grandes cavités qui émaillent le sous-sol, généralement liées à la présence de nappes phréatiques, perturbent en effet légèrement le champ magnétique terrestre mesuré en surface. Pour Yves Rocard, ces variations pourraient donc

provoquer chez les sourciers, par des mécanismes encore inconnus, des modifications physiologiques, et d’imperceptibles tremblements amplifiés par les baguettes et les pendules.

Il n’est pas grotesque d’envisager que les humains soient très légèrement sensibles aux champs magnétiques. En particulier parce que notre espèce possède les molécules qui servent, chez les animaux migrateurs, à le détecter (voir *S&V* n° 1136, p. 74). De même que certaines personnes ont une meilleure vue, d’autres pourraient être plus sensibles à ces champs magnétiques.

Seulement voilà : si une telle piste, très hypothé-

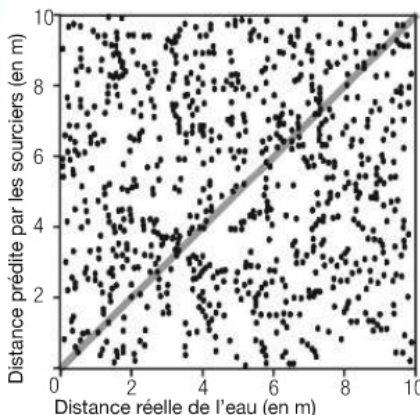
tique, peut être envisagée pour expliquer certains des étranges pouvoirs des sourciers... encore faudrait-il que ces pouvoirs existent !

Or, aucune étude sérieuse n’a mis en évidence de telles capacités, à part celles menées par Yves Rocard, qui ont été disqualifiées. En cause, sa méthodologie extrêmement biaisée. Plusieurs équipes de chercheurs les ont même reproduites sans jamais retrouver ses résultats.

Au contraire, toutes les études menées depuis ont montré que la capacité des prétendus sourciers à trouver de l’eau était équivalente à celle d’une personne... tirant à pile ou face. **E.A.**

## Le rappel des faits

En mars 2014, dans l’Orne, un sourcier a convaincu un juge d’ordonner des fouilles sur un site précis, pour retrouver le corps d’un homme disparu en 1912.



## Les sourciers ne font pas mieux que le hasard

En 1968, 43 sourciers ont tenté de détecter des tuyaux d’eau cachés sous un faux plancher. Après 843 essais (points noirs), leurs résultats équivalaient à ceux pouvant être obtenus par hasard (la ligne grise matérialise ce qu’auraient été de parfaits résultats...).



## Un rapport confirme la baisse de la fertilité

# Quelles menaces pèsent sur les spermatozoïdes ?

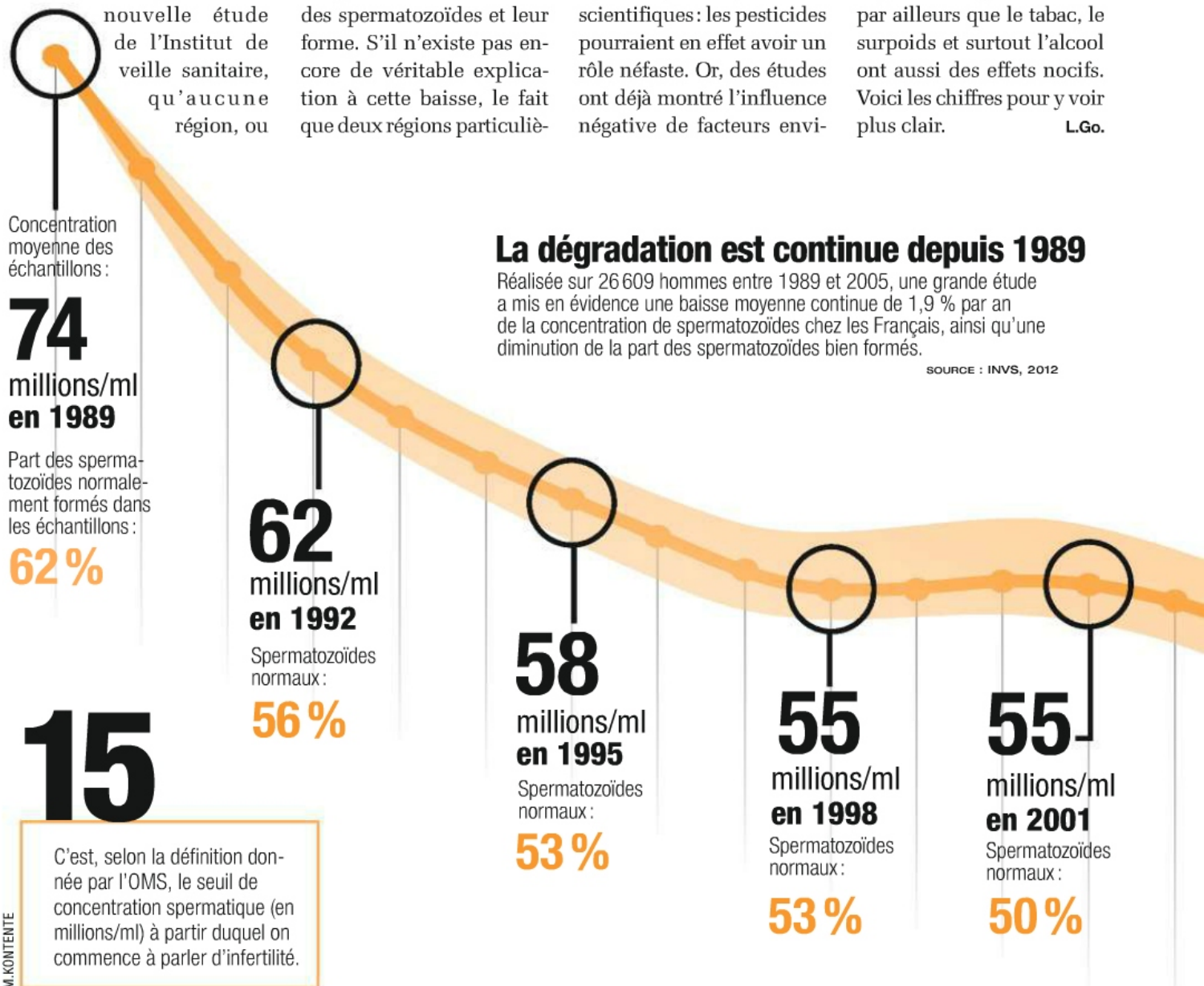
La qualité du sperme des Français se dégrade, et on sait désormais, grâce à une nouvelle étude de l'Institut de veille sanitaire, qu'aucune région, ou

presque, n'est épargnée. Du moins si on prend en compte à la fois le nombre des spermatozoïdes et leur forme. S'il n'existe pas encore de véritable explication à cette baisse, le fait que deux régions particuliè-

rement touchées soient très agricoles (Aquitaine et Midi-Pyrénées) interpelle les scientifiques : les pesticides pourraient en effet avoir un rôle néfaste. Or, des études ont déjà montré l'influence négative de facteurs envi-

ronnementaux (contact avec des produits chimiques) sur la qualité du sperme. On sait par ailleurs que le tabac, le surpoids et surtout l'alcool ont aussi des effets nocifs. Voici les chiffres pour y voir plus clair.

L.Go.



## Des disparités régionales apparaissent

Evolution de la concentration et de la morphologie des spermatozoïdes entre 1989 et 2005

### Evolution de la concentration



SOURCE : INVS, 2013

### Evolution de la morphologie



SOURCE : INVS, 2013

**51**  
millions/ml  
en 2005  
Spermatozoïdes  
normaux :  
**41 %**

## Le tabac a un impact, mais il reste limité

**-15,2 %**

Baisse de la concentration de spermatozoïdes mesurée chez de gros fumeurs

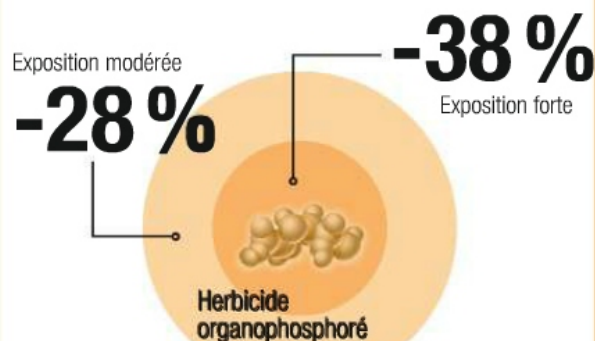
## Le surpoids est montré du doigt

**-25 %**

Diminution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat lorsque l'IMC dépasse 25 kg/m<sup>2</sup> (surpoids)

## Une exposition modérée aux herbicides est déjà nocive

Baisse du nombre de spermatozoïdes par éjaculat chez des hommes exposés aux herbicides organophosphorés



## L'alcool a l'effet le plus spectaculaire

Chute de la concentration spermatique observée chez des alcooliques chroniques

**-62 %**



SOURCE : FERTILITY AND STERILITY, 2003

SOURCE : PHIL. TRANS. R. SOC. B., 2010

SOURCE : J. APPL. TOXICOL., 2008

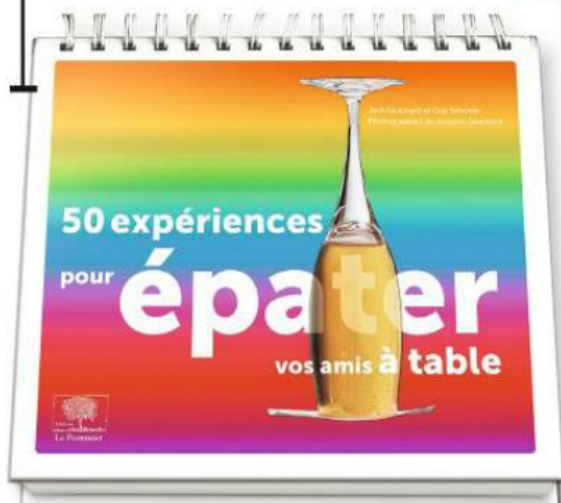
SOURCE : FERTILITY AND STERILITY, 2005

## Transformez l'eau en vin!

Ce livre décrit 50 expériences très faciles à réaliser à partir des objets présents sur la table, pour surprendre vos convives : retourner un verre de vin sans perdre une goutte, créer un nuage dans une bouteille, faire léviter une olive...

**50 expériences pour épater vos amis à table**  
**18,90 €**

AUTEURS : JACK GUICHARD, GUY SIMONIN. 240 PAGES.  
DIM. 21 x 17 CM. ÉDITIONS LE POMMIER



**OFFRE SPÉCIALE**  
**« ÉPATER VOS AMIS »**

**LES 2 LIVRES**  
**35,91 €**  
au lieu de 37,80 €  
seulement!



Visuels non contractuels

## Créez un double arc-en-ciel devant vos amis!

Marchez sur l'eau, déviez l'eau à distance, transpercez un ballon sans le faire exploser... Avec ce livre illustré et rempli d'explications scientifiques, réalisez facilement 50 expériences pour surprendre vos convives dehors dans votre jardin ou en ballade.

**50 expériences pour épater vos amis au jardin**  
**18,90 €**

AUTEURS : JACK GUICHARD, GUY SIMONIN. 240 PAGES. DIM. 21 x 17 CM. ÉDITIONS LE POMMIER.

## PRÉCISION ET ÉLÉGANCE

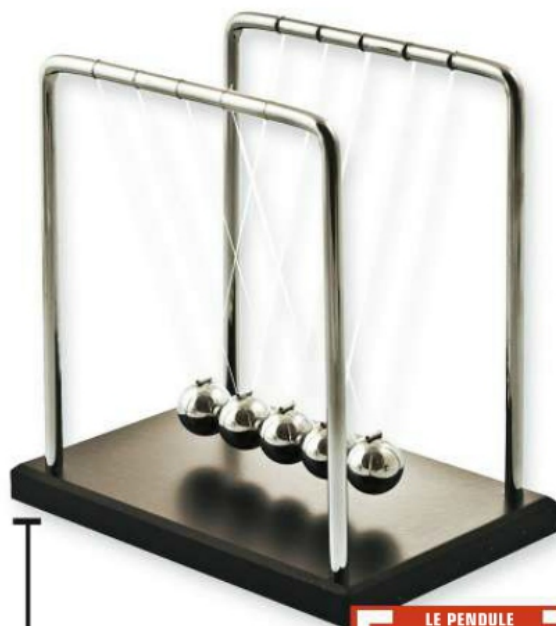
**49 €**  
seulement!

FRAIS D'ENVOI  
OFFERTS

Noblesse des matériaux, pureté des lignes et raffinement caractérisent la montre chronographe Tosca. Avec distinction et précision, elle répond aux critères esthétiques et technologiques de la maison LIP, qui depuis 1867, s'est imposée comme la digne représentante de la grande tradition horlogère française.

**Montre LIP**  
**chronographe Tosca**

MOUVEMENT VD54 A QUARTZ 6 AIGUILLES. BRACELET  
EN CUIR DE VACHETTE NOIR GRAINÉ FAÇON CROCO.



**Un classique**  
**scientifique**  
**à offrir**

**LE PENDULE**  
**19,90 €**  
seulement

Vous le savez sans doute, ce pendule de Newton illustre les théories de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Et en plus, avec son socle en bois et ses billes de gros diamètre, c'est un bel objet de décoration.

**Pendule de Newton Deluxe**

DIM. 18 x 17,5 x 12 CM. SOCLE NOIR EN BOIS. MÉTAL ARGENTÉ. BILLE DIAM. 1,8 CM.

La Boutique

SCIENCE & VIE

www.laBoutiqueScienceetVie.com

Chaque mois, La Boutique Science & Vie sélectionne pour vous des livres, idées cadeaux et des objets scientifiques ou insolites.

### Exceptionnel!

Offrez-vous le coffret de 2 livres Science & Vie Témoin d'un siècle 1913-2013 en ÉDITION EXCLUSIVE NUMÉROTÉE avec la LITOGRAPHIE originale de la couverture Science & Vie d'octobre 1932.

### Offre collector exclusive Coffret Témoin d'un siècle

COFFRET DE 2 LIVRES : 2 LIVRES DE 500 PAGES COULEUR CHACUN. PLUS DE 3000 ILLUSTRATIONS, PHOTOGRAPHIES ET DOCUMENTS. DIM. 22,5 x 28,5 cm.

LITHOGRAPHIE : GRAND FORMAT : 62 x 86 cm. 11 COULEURS SUR PAPIER 170 g : CRÉATION MAEGHT ÉDITIONS.

Avec le soutien de l'école polytechnique et de sa Fondation

LE MEILLEUR DE SCIENCE & VIE

Offre introuvable ailleurs!



Prix public: 129€  
**119€**  
seulement!

RÉDUCTION SPÉCIALE 10€

FRAIS D'ENVOI OFFERTS

PAIEMENT SANS FRAIS 3x



Une seule batterie pour tous vos appareils!

### Finies les pannes de téléphone!

Grâce à cette batterie de secours Science & Vie, rechargez partout votre téléphone, tablette tactile, caméra ou smartphone. Compacte, elle se glisse dans une poche pour vous dépanner dans tous vos déplacements. De très bonne qualité, elle vous permet de recharger un téléphone à 100% et une tablette 10 pouces à 25%.

### Batterie de secours Science & Vie pour appareils mobiles - 19,99€

CAPACITÉ : 2600 MAH. COULEUR NOIRE. SE RECHARGE À VOTRE ORDINATEUR VIA CÂBLE USB (FOURNI). COMPATIBLE LECTEURS MP3, SAMSUNG, TOUS IPHONES (3 à 5), IPAD, BLACKBERRY, HTC, SONY, CAMERA, SONY PSP. DURÉE DE VIE : PLUS DE 500 CHARGES VIA CÂBLE MULTI PRISES (FOURNI). DIM. 9,6 x 2,2 x 2,2 cm. POIDS : 80 g.

### POUR COMMANDER ET S'INFORMER

www.laboutiquescienceetvie.com

Exclusivité Internet : Livraison en Points Relais\*

Renvoyez le bon de commande avec votre règlement à La Boutique SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

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

EN CADEAU avec votre commande de 59€

La boîte à questions Science & Vie avec le code avantage 306 845



## BON DE COMMANDE

Articles	Réf.	Quantité	Prix	Sous-total
Offre collector exclusive Science & Vie Témoin d'un siècle + Litographie	377.044 377.051	x	119€	= €
Livre 50 expériences pour épater vos amis à table	378.414	x	18,80€	= €
Livre 50 expériences pour épater vos amis au jardin	380.352	x	18,80€	= €
Offre spéciale 2 livres «Épater vos amis»	380.360	x	35,81€	= €
Pendule de Newton deluxe	365.189	x	19,80€	= €
Montre LIP Tosca couleur noire	378.026	x	49€	= €
Batterie de secours S&V pour téléphones portables	379.859	x	19,99€	= €
SOUS-TOTAL				6,80€
FRAIS D'ENVOI (cocher la case de votre choix)				
<input type="checkbox"/> Envoi normal				
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 39€ Envoi Colissimo			GRATUIT	
<input type="checkbox"/> Livraison rapide Colissimo			7,80€	
<input type="checkbox"/> Ma commande atteint 75€ Livraison rapide Colissimo*			GRATUIT	
TOTAL				€

Offres valables en France métropolitaine uniquement dans la limite des stocks disponibles jusqu'au 30/09/2014. Délai de livraison des produits : maximum 3 semaines après l'enregistrement de votre commande sauf si envoi par Colissimo (5 jours max.). Selon l'article L121-20 du code de la consommation, vous disposez d'un délai de 7 jours pour changer d'avis et nous retourner votre colis dans son emballage d'origine complet. Le droit de retour ne peut être exercé pour les enregistrements vidéo déscellés. Les frais d'envoi et de retour sont à votre charge. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. Cochez la case si refus.

À RENVoyer DANS UNE ENVELOPPE AFFRANCHIE AVEC VOTRE RÈGLEMENT À : LA BOUTIQUE SCIENCE & VIE - CS 30 271 - 27 092 ÉVREUX CEDEX 9

### > Mes coordonnées

CODE AVANTAGE : 306 845

☐ M. ☐ M<sup>me</sup> ☐ M<sup>lle</sup>

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

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

Tél. \_\_\_\_\_

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

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

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

### > Mode de paiement

☐ Je joins mon chèque bancaire ou postal à l'ordre de SCIENCE & VIE

### Je règle par carte bancaire

☐ Je règle en 1 fois la totalité de ma commande

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

PAIEMENT SANS FRAIS 3x

Carte bancaire N° \_\_\_\_\_

Expire fin : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Date et signature obligatoires

Cryptogramme \_\_\_\_\_

Les 3 chiffres au dos de votre CB



# AU-DELÀ DU REEL

## LES PHYSICIENS OUVRENT LES PORTES DE L'ESPACE-TEMPS

*Personne n'avait pensé jusqu'ici à faire le rapprochement ! Les théoriciens Juan Maldacena et Leonard Susskind viennent de revisiter deux fameux concepts façonnés par Einstein et de s'apercevoir qu'ils ne font qu'un. Trous de ver et intrication quantique seraient en fait les deux faces d'une même pièce... De quoi décrire un Univers radicalement nouveau dont la trame est truffée de tunnels spatio-temporels.*

À LA  
UNE

PAR ROMÁN IKONICOFF ET  
MATHILDE FONTEZ

ER=EPR. La découverte tient en cette simple égalité qui fusionne deux monstres sacrés de la physique, deux icônes du XX<sup>e</sup> siècle.

ER et EPR : d'un côté, il y a les "trous de ver", ces pliures de l'espace-temps entre deux trous noirs sur lesquelles se sont fondés nombre d'auteurs de science-fiction pour imaginer des voyages à travers l'espace sur des distances inatteignables, même à la vitesse de la lumière ; de l'autre, il y a "l'intrication quantique", cette propriété du monde de l'infiniment petit qui maintient connectées des particules quelle

que soit la distance qui les sépare et qui a inspiré d'autres écrivains pour crédibiliser des machines de téléportation intergalactique.

Et entre ces deux concepts qui, si fantastiques puissent-ils paraître, sont néanmoins issus des corpus théoriques les plus solides, il y a donc le signe =, que viennent d'apposer deux physiciens, Juan Maldacena de l'Institute for Advanced Study de Princeton et Leonard Susskind, à l'université Stanford de Californie.

Le raccourci est saisissant. Selon eux, les fabuleux tunnels spatio-

# Pour les physiciens, l'Univers tient en 4 dimensions et 2 théories incompatibles...

## L'Univers est un espace-temps...

La structure générale de notre monde est bien posée depuis qu'en 1905, Albert Einstein a découvert que les dimensions des objets et l'écoulement du temps auquel ils sont soumis diffèrent selon l'endroit d'où on les regarde. L'Univers est une trame quadridimensionnelle où les trois dimensions d'espace sont liées à une quatrième : le temps.

Galaxie

Big bang

temporels et l'étrange connexion supra-luminique seraient les deux faces d'un même phénomène. Ils formeraient une seule porte qui relie deux domaines jusqu'ici totalement disjoints : la mécanique quantique, qui excelle à décrire les relations entre les particules de l'infiniment petit, et la relativité générale, qui explique les relations entre les masses de l'Univers à grande échelle. Une porte qui s'ouvre sur une réalité fondamentale jusqu'ici hors de portée, au-delà des frontières de l'Univers. Et le plus surprenant est que ces deux notions aujourd'hui en voie de fusion sont nées quasiment simultanément, il y a 79 ans, dans le cerveau du plus célèbre physicien de tous les temps : dans ER = EPR, le E est l'initiale d'Einstein.

Retour en 1935, à Princeton. Albert Einstein, alors au faîte de sa gloire, travaille à réfuter la mécanique quantique. Cette théorie qu'il a pourtant

contribué à fonder ne le satisfait pas car elle anticipe bien les résultats de mesures sur les particules, mais ne les décrit pas lorsqu'elles sont libres, dans la nature : elles semblent être partout et nulle part ou dans des états différents à la fois, perdues dans l'aléatoire.

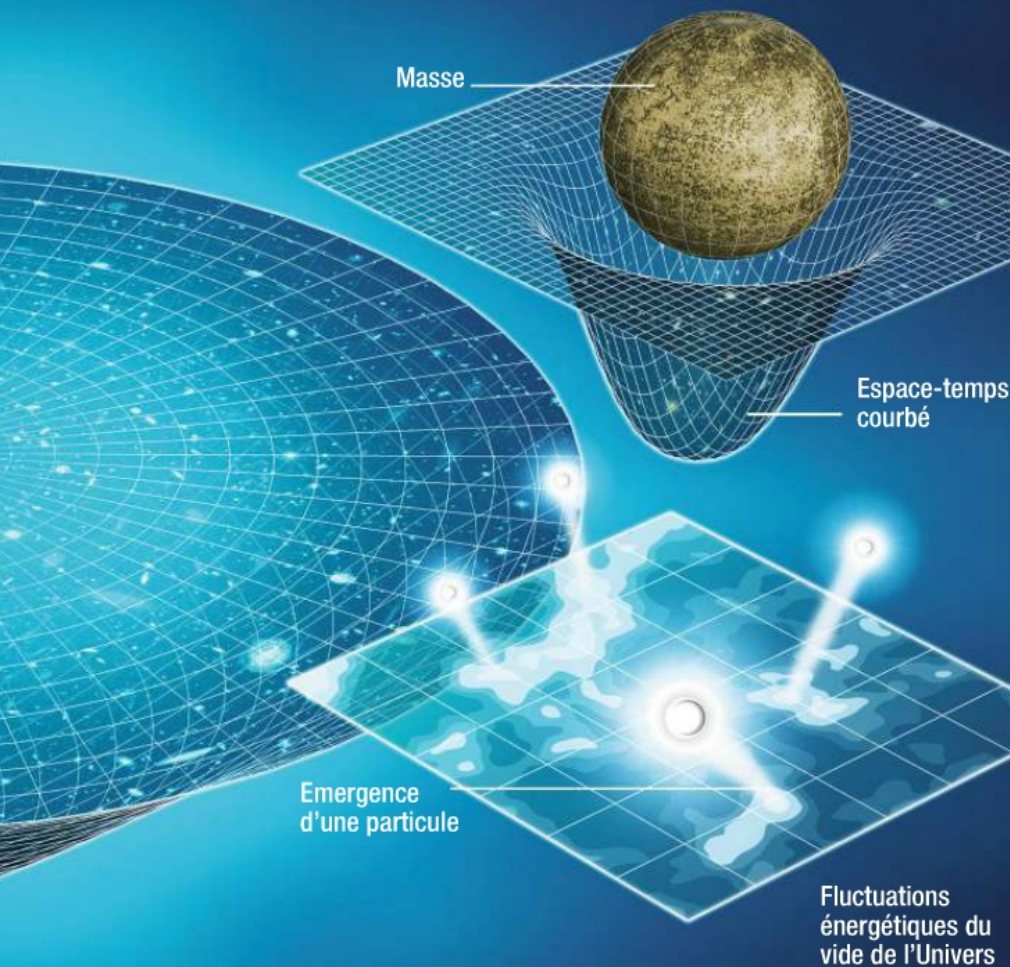
### HOLLYWOOD OSE LA CONNEXION

Or, après des mois de calculs, il pense avoir trouvé la preuve que la théorie de l'infiniment petit ne peut pas décrire la réalité. Avec ses étudiants Boris Podolsky et Nathan Rosen, il est parvenu à extraire de ses équations un phénomène étrange : deux particules pourraient se lier de manière à ce que quel que soit leur éloignement dans l'espace, toute action sur l'une se répercute sur l'autre. Comme si des atomes, des électrons ou des photons pouvaient communiquer plus vite que la lumière, ce qui est... impossible, sous peine de

devoir accepter que les causes précèdent les conséquences, que le sol soit mouillé avant qu'il pleuve ou qu'une pomme rebondisse avant de tomber.

Les trois physiciens publient au début de l'été leur résultat, cet étrange lien entre particules au-delà de l'espace et du temps, baptisé lien EPR, "lien Einstein-Podolsky-Rosen", et aussitôt exhibé par Einstein comme le "monstre" qui prouve que la physique quantique ne tient pas la route.

Las ! Dans les dizaines d'années qui suivent, les spécialistes des particules s'emparent du lien EPR, qu'ils renomment intrication quantique : ils montrent que s'il ne permet pas de communiquer plus vite que la lumière, le "lien fantôme à distance" moqué par Einstein est bel et bien réel. Ils parviennent même aujourd'hui, *via* des fibres optiques, à le maintenir sur des distances supérieures à 100 km et



## ... sur lequel pèse une matière...

La relativité générale décrit comment les masses déforment la trame spatio-temporelle, mais elle ne dit rien de la complexité des arrangements atomiques ni des émissions de lumière.

## ... aux propriétés quantiques

La physique quantique, elle, décrit parfaitement comment les particules émergent du vide et s'assemblent, mais ne parle ni de gravité ni d'espace-temps.

À LA UNE

savent même l'exploiter pour crypter des informations (*S&V* n° 1155, p. 80). De quoi faire fantasmer les auteurs en mal de voyages intergalactiques sur des machines à téléportation...

Nouveau retour en 1935. C'est maintenant la fin de l'été et Einstein publie une découverte, qui se fonde sur les équations de la relativité générale et qui concerne la structure de l'espace-temps. Avec Rosen, il est arrivé à un résultat inattendu : la matière peut déformer la trame de l'Univers jusqu'à y creuser un tunnel et ouvrir un passage entre deux régions éloignées.

Ainsi, un objet pourrait apparaître simultanément à deux endroits de l'espace-temps, comme un ver qui serait visible par les deux extrémités du tunnel creusé dans une pomme – sauf qu'ici la surface du fruit est l'espace-temps quadridimensionnel, et le tunnel un chemin dans une cinquième

dimension ! “*Nous appelons une telle connexion [...] un 'pont'.*” Ainsi naît le “pont d'Einstein-Rosen” (pont ER), bientôt surnommé “trou de ver”.

Le résultat est purement théorique, mais quinze ans plus tard les astrophysiciens découvrent qu'il existe effectivement des objets suffisamment lourds pour faire des trous dans l'espace-temps : les trous noirs, ces étoiles qui se sont effondrées sur elles-mêmes et qui pourraient, du fait de leur densité, creuser un pont reliant le présent d'une région spatiale avec le passé d'une autre... De quoi là encore inspirer nombre de récits de science-fiction.

Un lien EPR, un pont ER : les deux portes semblent toutes deux ouvrir des brèches qui échappent à l'espace-temps. Le premier parle de particules en terme d'onde et de probabilité quantique ; le second de trou noir en terme de gravité et de courbure de

l'espace-temps. Mais les deux phénomènes s'affranchissent des notions de distance et de durée. Comment Einstein, qui, le premier, a imaginé ces deux notions, a-t-il pu passer à côté de cette connexion ? “*Pour lui, comme d'ailleurs pour tout le monde, l'intrication quantique est toujours restée séparée des ponts ER*”, rappelle Thibault Damour, professeur à l'Institut des hautes études scientifiques et membre de l'Académie des sciences.

Ironie de l'histoire : la seule communauté qui, dans la foulée de ces travaux, pense à rapprocher les deux phénomènes est celle... des scénaristes hollywoodiens ! Le subspace de *Star Trek* ; l'anneau de *Sliders* ou la membrane de *Stargate* : ponts ER et liens EPR deviennent des stars du petit et du grand écran. Intrications et trous de ver se mélangent au gré des besoins des héros de fiction, à coup de puits de

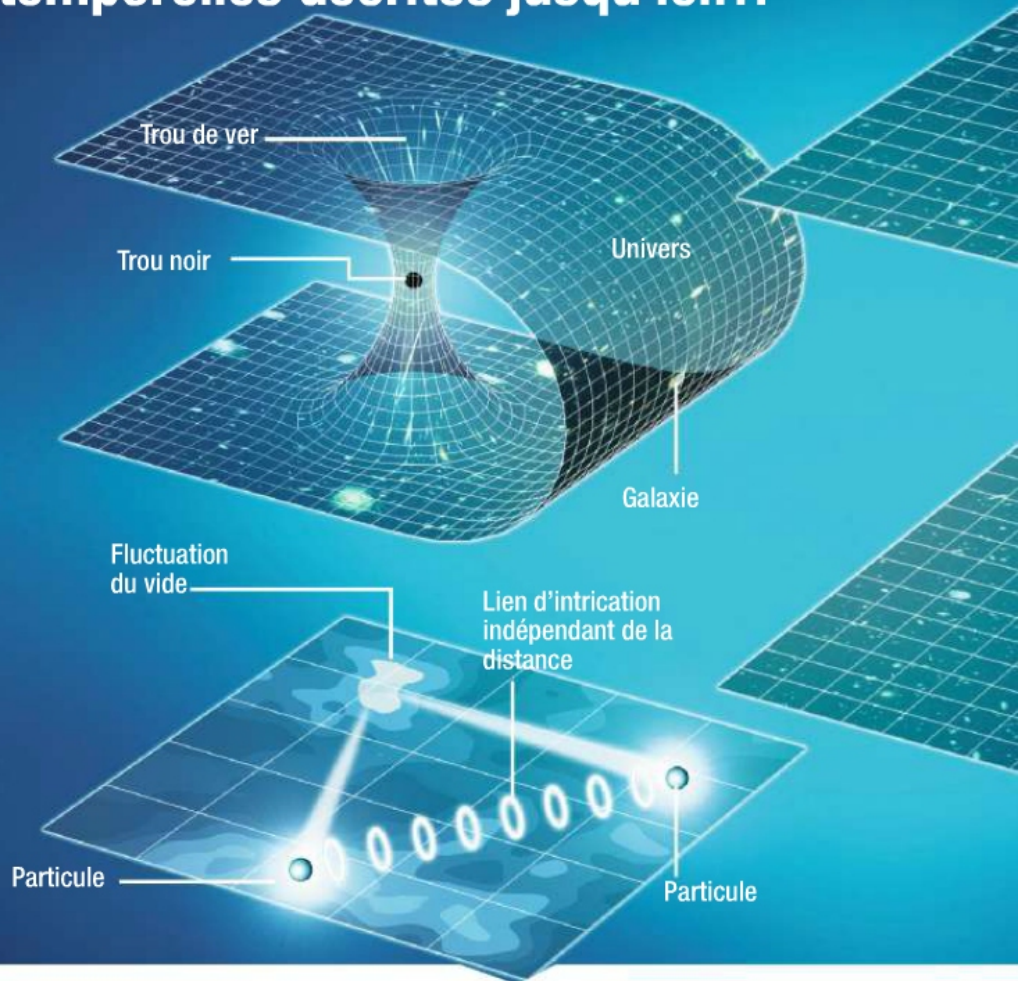
# Les 2 portes spatiotemporelles décrites jusqu'ici...

## A l'échelle cosmique

A grande échelle, la relativité générale prédit qu'un trou noir, du fait de sa masse colossale, peut creuser l'espace-temps jusqu'à y ouvrir une sorte de tunnel : un trou de ver. Il devient ainsi visible depuis deux endroits éloignés de l'espace-temps.

## Au niveau quantique

A l'échelle de l'infiniment petit, la physique quantique prédit que deux particules peuvent être connectées quelle que soit la distance qui les sépare, comme si elles ne formaient qu'un seul objet physique, situé à deux endroits en même temps.



gravité plongeant dans l'hyper-espace, ou de portes à téléportation qui frémissent de fluctuations quantiques...

Et aujourd'hui, contre toute attente, c'est à Hollywood que Juan Maldacena et Leonard Susskind proposent de donner raison. Les deux physiciens ne sont pas n'importe qui. Ils représentent l'avant-garde du bataillon de chercheurs qui travaillent aujourd'hui à réconcilier mécanique quantique et relativité générale. Le premier est célèbre pour avoir réussi, en 1997, à joindre mathématiquement les deux théories dans un modèle d'univers simplifié ; le second est l'un des pères de la théorie des cordes, principale postulante pour les remplacer. Aussi lorsqu'ils présentent un résultat, celui-ci retentit avec force dans toute la communauté.

"C'est Juan Juan Juan !, qui a fait la connexion le premier, martèle Leonard Susskind. Ensuite il m'a envoyé

un message cryptique et quand je l'ai lu, toutes les pièces du puzzle se sont mises en place."

Juan Maldacena revient sur la genèse de leur idée : "Dans un article publié en 1965 duquel nous sommes partis, le cosmologiste canadien Werner Israël expose une intuition : il interprète l'un des états d'un trou noir comme étant équivalent à une intrication, mais sans l'énoncer dans un cadre formel. Nous avons donc cherché à savoir si en intriquant quantiquement deux trous noirs, ils se connecteraient spatio-temporellement par un trou de ver..."

### LE RENFORT D'AUTRES PHYSICIENS

Pour mener leur expérience – purement théorique –, les chercheurs se placent dans un univers simplifié, où ce n'est pas la matière mais l'espace lui-même qui produit la gravitation et donne naissance à un trou noir. Puis,

conformément aux équations de la cosmologie, ils laissent ce trou s'évaporer progressivement en irradiant de la chaleur sous forme de particules lumineuses. Une énergie qui peut se concentrer en un point infime et donner naissance à un second trou noir.

En déroulant scrupuleusement les lois quantiques, les chercheurs montrent que les deux trous noirs sont liés par une intrication, "ce qui est théoriquement possible, car les trous noirs ne sont rien d'autre que des objets localisés dans l'espace, précise Juan Maldacena. Aussi, comme les particules, ont-ils des paramètres quantiques".

Enfin, les théoriciens éloignent leurs deux monstres astrophysiques l'un de l'autre et observent la naissance... d'un trou de ver. En clair : ils ont posé les équations d'une intrication quantique, et sont tombés sur les formules qui

# ... ne feraient qu'une

Les portes relativiste et quantique pourraient n'être qu'un seul phénomène : deux particules intriquées seraient en fait un seul et même grain de matière plongé au cœur d'un tunnel spatiotemporel.

Mais cela ne les empêche pas d'y croire dur comme fer : "Bien sûr ! Je pense que c'est vrai dans la réalité, tranche Leonard Susskind. Nous avons montré l'égalité dans un univers simplifié mais les leçons que nous en tirons sont bien plus générales.

*ER = EPR semble très général !*"

D'autant que d'autres physiciens viennent de renforcer leur découverte. Kristian Jensen de l'université Victoria au Canada, Andreas Karch de l'université de Washington et Julian Sonner, du Massachusetts Institute of Technology, sont partis d'un exemple très simple, mais en prenant le problème par l'autre bout : au lieu de trous noirs, ils ont choisi de manipuler des particules. Et au lieu de regarder si les trous de ver ne sont pas des trous noirs intriqués, ils se sont demandés si des particules intriquées ne formeraient pas, entre elles, des trous de ver...

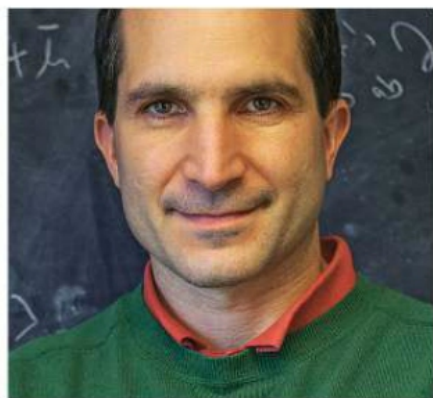
## L'INTRICATION, ENFIN, PREND CORPS

"ER = EPR est vague : cela peut vouloir dire que les deux phénomènes sont les mêmes, ou qu'ils se produisent toujours ensemble... Nous voulions comprendre comment on peut lire cette égalité", explique Andreas Karch qui a mené l'une des études à l'université de Washington, à Seattle.

Sur le papier, ils commencent donc par intriquer un quark et un anti-quark, ces grains fondamentaux de la matière qui constituent les protons et les neutrons des atomes. Puis auscultent leur comportement à l'aune des équations du trou de ver. ➔

décrivent un tunnel d'espace-temps. "Nous spéculons que même la plus simple intrication est connectée par un pont de ce type, notent-ils. Nous souhaitons attirer l'attention sur cette similarité. En fait, nous sommes en train de prendre une position radicale : EPR et ER sont liés irrémédiablement." Ce qu'ils désignent sobrement par une expression appelée à faire date : ER = EPR.

Prudents, Juan Maldacena et Leonard Susskind pointent cependant les simplifications sur lesquelles s'appuie leur hypothèse : les trous noirs pourraient se révéler plus complexes dans la réalité que ne l'est leur cas d'école. Aussi l'équivalence ER = EPR qu'ils ont vu apparaître dans leur univers simplifié pourrait ne pas être transposable à celui dans lequel nous vivons...



**JUAN MALDACENA**

Institute for Advanced Study  
(Princeton, New Jersey)

*Toute la géométrie de l'espace-temps pourrait dépendre des liens quantiques entre les particules. La gravité émergerait de l'intrication*

A LA UNE



→ Les physiciens parviennent rapidement à la même conclusion : les formules du trou de ver décrivent exactement le comportement des particules intriquées. “*La description quantique de l'intrication et la géométrie classique du trou de ver mènent aux mêmes corrélations entre le quark et l'antiquark*”, précise le physicien. Nous trouvons que l'intrication a une description équivalente mathématiquement en géométrie classique : le trou de ver.”

Bref, le lien quantique instantané et la pliure spatio-temporelle peuvent être vus comme deux descriptions équivalentes d'une même réalité. D'ailleurs, les physiciens ont découvert que du point de vue du calcul, l'équivalence entre ER et EPR pourrait être fructueuse. Il serait plus facile d'utiliser les formules du trou de ver pour modéliser des systèmes quantiques avec

beaucoup de particules. “*On pourrait décrire des systèmes hors de portée car plus le système quantique est complexe, plus la description du trou de ver se simplifie*”, détaille Andreas Karch.

“

LEONARD  
SUSSKIND

Université Stanford  
de Californie

*Nous prenons une position radicale : ER et EPR sont liés irrémédiablement. Même la plus simple intrication est connectée par un trou de ver*

Mais c'est surtout la conséquence théorique de l'égalité qui les enthousiasme. ER = EPR signifie que l'intrication, enfin, prend corps. Cette propriété du monde évaporé et atemporel qu'est la physique quantique, devient un phénomène spatio-temporel... Or, l'intrication n'est pas qu'un phénomène parmi d'autres. Le “monstre” révélé par Einstein n'est pas une bizarrerie noyée dans le bouillonnement d'étrangetés qui agite l'infiniment petit. Les spécialistes des particules s'aperçoivent au contraire qu'elle est la véritable caractéristique du monde quantique, le phénomène qu'il faut comprendre pour pouvoir faire de la théorie de l'infiniment petit non plus seulement un outil de calcul efficace, mais une véritable description de la nature.

Le problème est que, sauf qu'à part en prédire l'existence, les équations

B. BOURGEOIS - A. POILLEUX/CIEL&ESPACE

# Le nouveau visage de l'espace-temps

Ainsi, si trou de ver et intrication quantique ne faisaient qu'un, chaque atome, chaque photon, chaque électron... toutes les particules de l'Univers pourraient plier l'espace-temps jusqu'à y ouvrir une brèche. Une multitude de passages creuseraient ainsi la trame quadri-dimensionnelle de l'Univers.

quantiques n'en disent rien. L'intrication a eu beau être décortiquée, exploitée dans des dizaines de laboratoires, personne ne sait fondamentalement comment l'interpréter... jusqu'à même pousser les physiciens à envisager de revoir entièrement le statut de la mécanique quantique et oser avancer qu'elle ne parle pas vraiment des particules elles-mêmes, mais uniquement des mesures, des observations que l'on peut faire (voir *S&V* n° 1151, p. 109).

L'égalité  $ER = EPR$  pourrait changer la donne: elle ouvre enfin une porte sur une réalité plus fondamentale que celle à laquelle nous donnent accès les théories actuelles. Elle permet d'éclairer le lien quantique fantôme du point de vue de la relativité, lui donnant enfin une interprétation appréhendable dans l'espace et le temps. L'intrication pourrait en effet être décrite de



“  
THIBAUT  
DAMOUR

*Pour Einstein, c'était un rêve fou... et flou*

physicien à l'Institut des hautes études scientifiques

**Science & Vie:** Comment Einstein a-t-il pu passer à côté du lien entre deux phénomènes qu'il a lui-même découverts, à quelques mois d'écart?

**Thibault Damour:** Je pense que, pour Einstein, le lien Einstein-Podolsky-Rosen [lien EPR: intrication quantique] est toujours resté conceptuellement séparé des ponts ER parce que ces deux découvertes n'avaient pas le même statut. Lorsqu'il a découvert l'intrication, Einstein l'a interprétée comme un paradoxe: c'était un phénomène aberrant qui montrait l'incomplétude de la théorie quantique... Tandis que le pont d'Einstein-Rosen [ER: trou de ver] était une tentative pour construire une théorie pour les particules basée sur la relativité générale.

**S&V:** Avec les ponts ER, Einstein cherchait la théorie du tout?

**E.G.:** Oui. Ce n'est que bien plus tard qu'ils ont été vus comme d'étranges objets astrophysiques, associés aux trous noirs. Les ponts ER ont d'abord été pensés comme

un phénomène de l'espace-temps qui pourrait servir de base à une théorie de la matière. Einstein, espérait qu'une description topologique-géométrique des interactions entre particules pourrait remplacer la description quantique.

**S&V:** Einstein avait donc vu ce que Maldacena et Susskind tentent aujourd'hui d'établir, mais sans le relier à l'intrication?

**E.G.:** C'était plutôt une intuition. Il faut se rappeler qu'à l'époque, la plupart des physiciens disaient que la relativité générale était bien jolie mais n'avait rien à voir avec le monde quantique des particules, pour lequel toute image géométrique de l'espace courbe n'avait aucune pertinence, et pour lequel il suffisait donc de penser à l'intérieur d'un espace plat habituel. Einstein, lui, sentait qu'une description géométrique globale de l'Univers pourrait nous suggérer quelque chose d'important à propos des particules. C'était un rêve fou... et flou.

À LA  
UNE

## La science a rattrapé la fiction

Ce tunnel spatio-temporel qu'est le pont ER, cette téléportation instantanée qu'est le lien EPR étaient du pain béni pour les scénaristes. Ils n'ont pas hésité à s'en emparer, les déclinant à volonté sous la forme des portes, d'anneaux ou de gouffres lumineux... jusqu'à toucher du doigt l'égalité ER=EPR : dans la série *Sliders*, le gouffre nuageux qui permet de glisser d'un univers à un autre est nommé "pont EPR", mélangeant les deux notions. Aujourd'hui, l'erreur de cinéma s'est transformée en hypothèse scientifique. La boucle est bouclée.



Star Trek (1966)



Sliders (1995)

*ER=EPR pourrait aider à distiller le contenu essentiel de l'espace-temps et nous permettre de comprendre comment il émerge*

**JULIAN SONNER**

Massachusetts Institute of Technology

naire bilingue *Physique quantique/Relativité générale* au sein de la théorie des cordes, analyse Costas Bachas, l'un des spécialistes du sujet à l'Ecole normale supérieure de Paris. Et elle constitue la tentative la plus réussie de relier ces deux mondes. L'intrication peut affecter la géométrie de l'intérieur de l'espace-temps : c'est une idée qu'on n'avait pas."

### DES PERSPECTIVES VERTIGINEUSES

Maldacena et Susskind vont même plus loin : les déformations de l'espace-temps associées à chaque intrication seraient à l'origine de la gravité décrite par la relativité générale. Ainsi, de la même manière que l'on décrit un matériau à partir de particules élémentaires, on pourrait expliquer la chute des pommes et le mouvement des planètes à partir d'une déformation spatio-temporelle élémentaire : la gravité quantique, ce Graal des physiciens serait simplement ce minuscule trou de ver qui se cache derrière chaque particule.

manière réaliste, simplement comme un tunnel spatio-temporel ; un chemin dans une cinquième dimension qui relie deux points de l'Univers. Même distantes de milliards de milliards de kilomètres, deux particules intriquées ne seraient en réalité qu'un seul grain de matière situé sur le pas d'une porte spatio-temporelle qui le fait apparaître à deux endroits distincts. Il ne faudrait alors plus s'étonner qu'une action sur l'"un" se répercute sur l'"autre".

De quoi bouleverser notre vision de l'Univers. A chaque particule intriquée serait ainsi associée une pliure de la trame de l'Univers rapprochant des régions éloignées pour n'en faire qu'un seul et même lieu. Chaque atome,

chaque proton, chaque électron, deviendrait ainsi une porte potentielle vers une cinquième dimension.

De quoi aussi formuler une belle promesse de mariage entre les deux sœurs ennemies de la physique. Car réécrire la théorie quantique pour en faire une géométrie de l'espace-temps, c'est justement l'idée de base de la théorie des cordes ! Une idée explorée depuis des dizaines d'années, et qui ne s'est pour l'instant concrétisée que sous la forme de petits bouts disparates... ER=EPR pourrait être l'élément clé qui manquerait pour réussir cette transposition.

" Cette équivalence s'inscrit dans un cadre général posé par Maldacena il y a seize ans, qui établit un diction-



Stargate (1997)

Mais si le travail qui reste à faire est énorme, les perspectives sont vertigineuses. “*Réfléchir à l'émergence de la gravité en termes d'intrication est une approche très prometteuse, renchérit Julian Sonner. Je crois que continuer dans cette voie pourrait aider à distiller le contenu essentiel de l'espace-temps et amener à une meilleure compréhension de la façon dont il émerge.*”

### L'ESSENCE DE LA RÉALITÉ

Certains, comme Joseph Polchinski, à l'Institut de physique théorique de Californie, sont déjà à la tâche: “*C'est certainement l'une des idées les plus intéressantes qui ait été produite récemment, dit-il. Je suis en train d'essayer de comprendre comment la compléter.*”

Et si l'idée se concrétise, cela fera une incroyable histoire à inscrire dans les livres scientifiques. L'histoire de la plus fantastique prédiction de la relativité générale et de la plus inimaginable loi de la mécanique quantique devenues les deux faces d'un même phénomène qui reflète la structure de l'Univers entier, depuis la plus petite particule jusqu'à la plus monstrueuse des étoiles. L'histoire d'un physicien hors norme qui, à l'été 1935, a mis le doigt, sans s'en rendre compte, sur l'essence de la réalité. Et qui fut le premier à entrouvrir les portes de l'espace-temps.



Interstellar (2014)

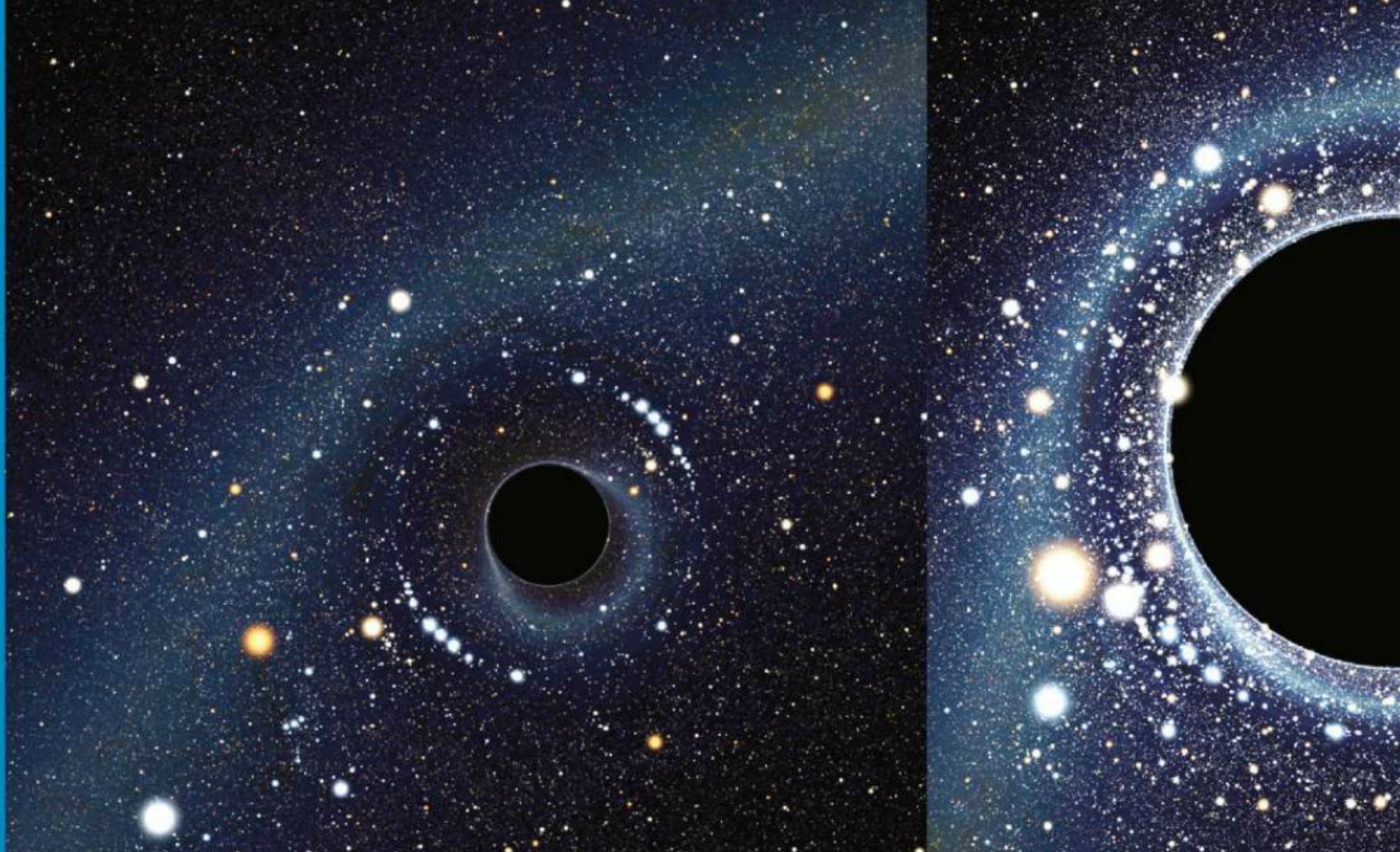
Aussi excités soient-ils, les spécialistes préviennent qu'il faudra du temps pour comprendre ce que veut vraiment dire  $ER=EPR$ . “*Pour l'instant, c'est un cadre général pour avancer, résume Costas Bachas. La physique n'est pas très bien définie. Il manque encore une validation théorique et une vérification expérimentale.*” Iosif Bena, théoricien des cordes au CEA, à Saclay, prévient même: “*Si la proposition de Maldacena et Susskind n'est pas suivie d'une formulation mathématique plus complète, elle ne survivra pas longtemps.*”

L'intrication se retrouverait au centre de la réalité. “*La géométrie de l'espace-temps dépendrait des intrications quantiques, poursuit Maldacena. La gravité pourrait être vue comme une propriété émergente.*” C'est bien l'action de cette gravité quantique que les cosmologistes ont pour la première fois aperçue, en remontant aux premiers instants après le big bang (*S&V* n° 1160, p. 70). Mais, grâce aux ponts d'Einstein, les théoriciens pourraient maintenant enfin être en mesure de mettre le phénomène en formules.

## DES PORTES POUR VOYAGER DANS L'ESPACE-TEMPS ?

La réponse est non. Et c'est une impossibilité de principe: les voyages dans le temps sont inconcevables car cela obligerait à revenir sur la relation de cause à effet, soit l'hypothèse de base de la science, sans laquelle le monde devient inintelligible. Qu'elle soit décrite comme un trou de ver ou comme une intrication quantique, aucune porte spatio-temporelle ne permet donc de voyager plus vite que la lumière. Ce raccourci dans l'espace-temps ne peut transmettre aucune information. Néanmoins, aucun principe physique ne s'oppose à ce qu'un voyageur emprunte un trou de ver, à condition... qu'il débouche aléatoirement sur un autre univers de sorte qu'il ne puisse jamais revenir. Principe de causalité oblige, les voyages dans l'au-delà sont sans retour.

À LA UNE



# DES PORTES VERS... LA THÉORIE DU TOUT

*La querelle dure depuis 40 ans. Mais nombre de physiciens en sont persuadés : c'est là, sur le pas de ces portes, que mécanique quantique et relativité générale vont se rencontrer.*

"Que se passe-t-il quand on tombe dans un trou noir?" File-t-on paisiblement jusqu'à atteindre le cœur et y être écrasé par la pression insoutenable? Se désagrège-t-on bien avant cela en traversant un mur de feu qui brûle tout, à sa frontière? Les questions pourraient paraître naïves, des réflexions de curieux ou de scénaristes de film... Elles ont en fait été posées en 2013 lors d'un très sérieux congrès à Santa Barbara par Joseph Polchinski, éminent physicien à l'Institut théorique Kavli. Elles sont dans la tête de

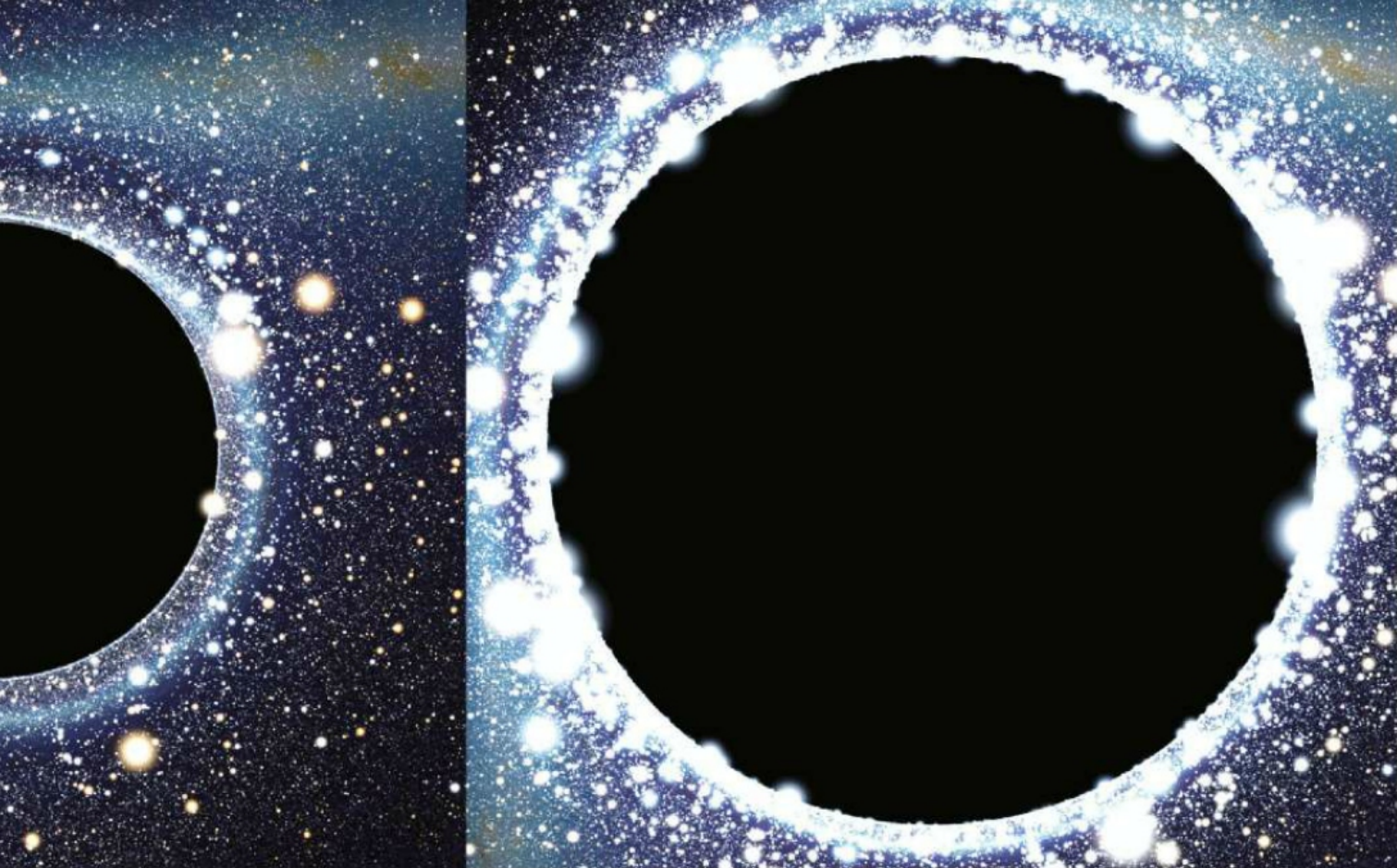
tous les physiciens qui travaillent sur les théories de l'Univers.

Le petit monde de la physique théorique qui s'était quelque peu endormi, ne trouvant aucune réponse pour faire avancer la théorie des cordes – principale postulante au titre de théorie du tout –, s'est réveillé. L'heure est de nouveau aux débats acharnés. Et ils se cristallisent à cet endroit précis, à l'entrée de creux spatiotemporels infiniment profonds. Tout se joue ici, aux abords de la porte noire de l'Univers. C'est là que s'affrontent les grands

noms de la physique: Stephen Hawking, John Preskill, Juan Maldacena, Leonard Susskind, Joseph Polchinski, Samir Mathur... C'est le lieu du corps à corps. C'est sur ce terrain miné que Maldacena et Susskind viennent de lancer leur égalité  $ER=EPR$  (voir p. 48). "Nous sommes dans un moment intéressant, résume Joseph Polchinski. Nous avons de nouvelles questions et peut-être les outils pour y répondre."

Que se passe-t-il à l'entrée d'un trou noir? C'est tout le combat entre physique quantique et relativité générale qui se joue ici. Il oblige à une plongée dans les concepts les plus ardues. Il fait émerger des paradoxes subtils. Et il fait remonter le temps progressivement... jusqu'à l'origine même de la théorie d'Einstein.

En effet, à peine la relativité générale avait-elle été inventée que l'on



en déduisait l'existence d'une zone où sous l'influence d'une gravité extrême, temps et espace s'inversent. On s'apercevait que les équations d'Einstein avaient une solution étrange décrivant une sphère qui attire tout ce qui l'entoure et ne laisse rien s'échapper, pas même la lumière. C'est cette solution qu'Einstein généralise en 1935 et qui l'amène à envisager l'existence de tunnels qui, creusant la trame de l'espace-temps, pourraient relier deux régions disjointes: les trous de ver. C'est cette solution qui, dans les années 1970, devient l'étendard du succès de la relativité lorsqu'on découvre qu'elle peut exister dans la nature, quand des étoiles massives meurent et qu'elles s'effondrent sur elles-mêmes. Il existe des trous noirs. Et ces astres incroyablement denses ne sont pas seulement un monstre astrophysique parmi d'autres. Ils s'imposent comme la prédiction principale de la relativité générale. *“Rien de plus essentiel pour une théorie physique que de prévoir, puis de découvrir une nouvelle particule ou un nouvel élément,* analyse ainsi l'historien de la physique Jean Eisenstaedt

dans un ouvrage consacré à la relativité. *Avant ce renouveau, la relativité était une théorie mal aimée: le peu de liens qu'elle proposait avec les 'vrais' problèmes de la physique l'avait rejetée, pour longtemps, du côté de l'art pour l'art. La naissance du concept de trou noir, ce n'est rien de moins que la seconde révolution relativiste.*”

#### LE “PARADOXE DE L'INFORMATION”

Ainsi, en 1973, dans la préface de leur ouvrage sur la gravitation qui fait aujourd'hui référence, John Wheeler, Charles Misner et Kip Thorne parlent-ils d'une “transformation prodigieuse” de la théorie d'Einstein: *“D'une baie tranquille où quelques théoriciens poursuivaient leurs recherches, elle est passée aux avant-postes, en pleine effervescence, qui attirent un nombre croissant de jeunes talents, ainsi que des crédits importants destinés aux recherches expérimentales.”*

Trous noirs et trous de ver... les portes spatio-temporelles imposent la relativité générale pour décrire l'Univers. Aussitôt, elles concentrent donc les efforts des plus grands. Et bien

^ L'astrophysicien Alain Riazuelo a simulé le paysage cosmique à l'approche d'un trou noir. Aujourd'hui, la description de cette chute concentre tous les efforts des physiciens.

vite, elles ouvrent vers un casse-tête. Que se passe-t-il à l'entrée d'un trou noir? Au départ, la question se pose sous la forme d'un problème que les physiciens nomment le “paradoxe de l'information”. En 1972, le physicien israélien Jacob Bekenstein, alors installé aux Etats-Unis, tombe sur une contradiction: la singularité, ce point infiniment dense qui règne au cœur de trous noirs et dont l'existence est prédite par la relativité générale, s'oppose à un principe fondamental de la physique quantique, le principe de réversibilité. La théorie de l'infiniment petit est en effet formelle: l'information contenue dans un système quantique doit demeurer constante ou être transmise à l'environnement. La température des gaz qui tombent dans un trou noir, leur vitesse, leur direction, ne peuvent être perdus. Ils ne peuvent donc s'évaporer dans une singularité, comme l'affirme la relativité. Le ➔

A LA UNE

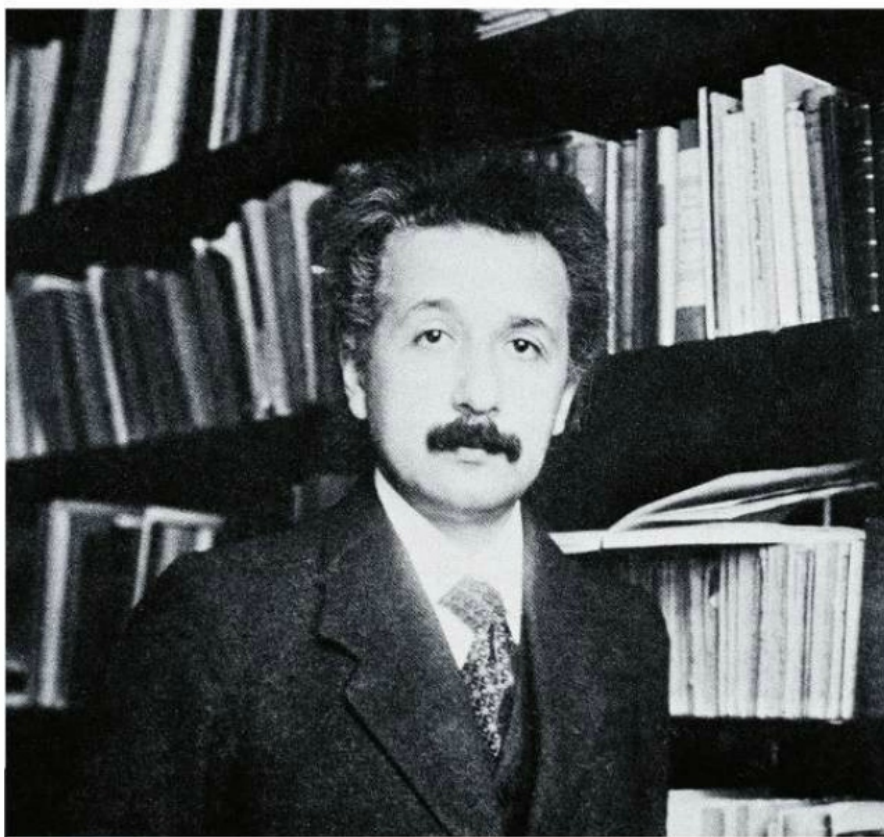
problème se renforce deux ans plus tard, quand le physicien britannique Stephen Hawking, qui s'était lancé dans l'analyse du comportement d'un champ quantique au voisinage d'un trou noir découvre, à sa grande stupéfaction, qu'il rayonne. C'est là que la deuxième porte spatiotemporelle entre en scène, cet étrange phénomène qui lie deux particules par-delà l'espace, comme si elles ne faisaient qu'une, ce lien fantôme moqué par Einstein et qui a pris place au cœur de la théorie de l'infiniment petit: l'intrication.

### HAWKING ET SON RAYONNEMENT

Les calculs d'Hawking montrent en effet qu'au niveau de l'horizon des événements, cette sphère qui délimite le trou noir, des phénomènes quantiques se produisent: des paires de particules et d'antiparticules intriquées ne cessent d'apparaître dont l'une plonge dans le trou noir et l'autre s'en échappe. Pousant le phénomène à la limite, Hawking conclut alors qu'un trou noir peut s'évaporer jusqu'à disparaître... et donc perdre définitivement toutes les informations qu'il contient. *"On trouve dans les années 1970 que l'horizon mange tout, qu'il ne se souvient pas de ce qu'il a mangé, et qu'il transforme tout en chaleur, explique Iosif Bena, spécialiste du sujet au CEA, à Saclay. Si l'on envoyait un disque dur contenant la 9<sup>e</sup> symphonie de Beethoven dans un trou noir, il serait avalé. Et la radiation qui ressortirait ne serait que du bruit thermique."* Quelque chose se perd à l'entrée des trous noirs. Les portes spatiotemporelles posent problème.

La situation demeure bloquée jusqu'à ce qu'en 1985, Gerard 't Hooft et Leonard Susskind proposent une idée renversante: l'horizon pourrait refléter tout ce qui est contenu dans le volume qu'il délimite. Les informations de ce qui entre dans le trou noir, la vitesse des gaz, leur température, mais aussi l'état des particules, ne disparaîtraient pas dans la singularité. Ils resteraient stockés en surface. Ainsi, le principe de réversibilité serait sauvé et la physique quantique avec lui!

## 100 ANS POUR OUVRIR LA PORTE NOIRE



### 1915 **Albert Einstein réinvente le monde**

Dix ans après avoir inventé le concept d'espace-temps, Einstein y intègre la gravitation: les masses agissent sur la trame de l'Univers jusqu'à le creuser profondément, donnant l'illusion d'une force d'attraction gravitationnelle.

Dans la foulée, deux découvertes viennent appuyer l'idée. Le physicien John Preskill, du California Institute of Technology, montre que le rayonnement de Hawking n'est pas qu'un signal désordonné. En plus de la chaleur, il pourrait transporter les informations vers l'environnement. Il constituerait donc un mécanisme qui permet de sauver les informations dans le cas extrême où un trou noir s'évaporerait jusqu'à disparaître. Et Juan Maldacena, de l'université de Princeton, formalise le principe holographique. En se basant sur la théorie des cordes, il invente un modèle d'univers en trois dimensions gouverné seulement par la gravité qui est lié à une surface en deux dimensions sur laquelle particules et champs obéissent

uniquement... aux lois quantiques. Les portes deviennent le lieu de la réconciliation: pour la première fois, la relativité générale et la physique quantique se parlent. Elles interviennent au sein d'un même mécanisme, en toute harmonie: l'état des particules de matière avalées par les trous noirs ne se perd pas dans un gouffre obscur. Il se code sur l'horizon des événements et peut être recraché à tout moment *via* le rayonnement de Hawking.

### L'INTRICATION EST "MONOGAME"

Lors de la formulation définitive de la théorie en 1997, beaucoup pensent que le paradoxe de l'information est enfin résolu et qu'avec lui, la révolution de la physique est en train de se produire. De nombreux cher- ➔

**1916****La naissance du concept de trou noir**

L'astrophysicien Karl Schwarzschild calcule la solution exacte aux équations d'Einstein pour une boule de matière sphérique : près de son centre, elle a un comportement étrange, temps et espace semblent s'inverser ; certains coefficients mathématiques deviennent infinis... Il délimite une sphère où la lumière semble s'accumuler. Dix-neuf ans plus tard, Einstein généralisera cette solution, donnant naissance à des tunnels spatiotemporels.

**1967****Le trou noir devient concret**

Le mathématicien Martin Kruskal décrit ce qui se passe en dessous du rayon de Schwarzschild et rapproche ce phénomène à l'effondrement d'une étoile massive. John Wheeler baptise ce nouvel objet astronomique... trou noir.

**1971****On en voit enfin un**

Après des mois de débats, les astronomes se convainquent que Cygnus X-1, une intense source de rayons X captée par le télescope *Uhuru* est bel et bien produit par un flot de matière... happé par un trou noir.

**1974****Le trou noir est quantique**

Stephen Hawking découvre un phénomène quantique sur l'horizon des trous noirs qui produit un infime rayonnement : enfin une piste pour réconcilier les lois de l'infiniment petit à la relativité.

**2012****Les abords du trou noir se précisent**

Pour résoudre une énième contradiction entre trous noirs et physique quantique, Joseph Polchinski décrit un étrange phénomène : un mur de feu qui, aux abords du trou noir, détruirait toute matière qui tente de le traverser.



À LA UNE

cheurs s'emparent du principe holographique pour bâtir des théories qui, unissant quantique et relativité, décriraient tout l'Univers, depuis l'infiniment petit jusqu'à l'infiniment grand. *"La découverte de Maldacena était tellement forte que la plupart des physiciens ont alors pensé que le paradoxe avait définitivement été levé, se rappelle Joseph Polchinski. Même si personne n'avait expliqué précisément comment la radiation de Hawking pouvait extraire des informations du trou noir... Nous pensions tous que cela allait venir rapidement."*

Las, lorsqu'ils regardent de plus près le rayonnement des trous noirs, les physiciens tombent sur un autre problème. Et il est lié à la fameuse intrication quantique.

La théorie de Hawking dit qu'à la frontière du trou noir, sur l'horizon, une particule et une antiparticule intriquées peuvent se former et qu'ensuite, l'une tombe dans le gouffre et l'autre jaillit vers l'espace. Jusqu'ici tout va bien... sauf que les physiciens s'aperçoivent que la particule qui échappe au trou

**Les physiciens le sentent, ils sont peut-être tout près d'unifier les théories**

noir peut très bien être intriquée avec toutes les autres particules du rayonnement de Hawking qui se sont formées avant. Or, la physique quantique stipule que l'intrication est monogame :

une particule ne peut pas être intriquée avec deux systèmes indépendants en même temps, car ceux-ci pourraient alors lui imposer des états contradictoires... Conséquence, il doit se passer quelque chose près du trou noir qui casse l'une des deux intrications.

On en arrive à cette conférence de 2013, où Joseph Polchinski, pose la question fatidique. Le chercheur propose de sortir de l'ornière au prix de l'invention d'un nouveau phénomène : un mur de feu, selon ses termes ("firewall") qui détruirait l'intrication entre les particules qui plongent dans le trou noir et celles qui en émergent.

*"En fait, l'équipe de Polchinski a repris et approfondi une idée →*

proposée par Samir Mathur en 2002, mais que personne n'avait acceptée alors, précise Iosif Bena. Il avait démontré que pour que l'information sorte, quelque chose doit se passer à l'horizon et il a été le premier à concevoir un objet physique qui remplit ce rôle : le 'fuzzball' – la pelote, en français. L'idée de ce théoricien de l'université d'Ohio était de remplacer le trou noir par un embrouillamini de cordes infiniment petites qui, de loin, pourrait ressembler à une boule de gaz agités. Le gouffre gravitationnel émergeait alors d'une matière quantique. Et son horizon pourrait être comparé à un phénomène thermodynamique – comme la surface d'un front de haute pression dans l'atmosphère – où des choses peuvent se passer.

Dix ans plus tard, en 2012, Joseph Polchinski et ses collaborateurs reprennent le modèle de Mathur et l'approfondissent : ils inventent un mur de feu en forme de couche sphérique à la frontière des trous noirs. Ainsi, tout objet plongeant dans le gouffre se trouverait mis en pièce au niveau de l'horizon des événements par un intense flux d'énergie. Problème : la relativité générale ne dit rien d'un tel mur. Pis, ses équations décrivent la frontière des trous noirs comme une sphère virtuelle, un lieu pareil à tout autre dans l'espace, sans matière ni substance, qu'un voyageur peut traverser sans s'en apercevoir. "Du point de vue de la relativité, l'horizon des événements est d'épaisseur nulle, résume Iosif Bena. Il est très difficile de lui attribuer une structure."

Que se passe-t-il quand on tombe dans un trou noir ? Et voilà que la question fait jaillir de nouveau une opposition frontale entre les lois de l'infiniment petit et celles de l'Univers à grande échelle. "On est dans un paradoxe, conclut Jean-Pierre Lasota, spécialiste de la relativité générale à l'Institut d'astrophysique de Paris. On annule le principe qui conduit aux équations de la relativité, à la frontière d'un objet issu de ces équations."

Il faudrait donc s'appuyer sur l'espace-temps d'Einstein à l'extérieur

## À QUAND UNE PREUVE EXPÉRIMENTALE ?

"Pour tester ces théories, on devrait regarder la physique proche du trou noir... ce qui est impossible" : en une phrase, Iosif Bena du CEA, résume tout le problème. Trous de vers et trous noirs intriqués sont bien réels pour les théoriciens... mais ils demeurent hors d'atteinte des télescopes et sont donc regardés avec suspicion par les astronomes. Ainsi, Jean-Pierre Lasota, de l'Institut d'astrophysique de Paris, qui vient de publier une étude montrant que le mur de feu prédit par Joseph Polchinski ne peut se former autour de trous noirs réalistes, pointe-t-il : "Les considérations des théoriciens sont un peu éloignées de la réalité physique du monde." D'un côté, l'astronomie et ses étoiles massives effondrées. De l'autre, la physique théorique et ses gouffres spatiotemporels. Pour les réconcilier, tous les regards se tournent non pas vers les trous noirs... mais vers les ondes gravitationnelles découvertes par Bicep 2 (voir S&V n° 1160, p. 70). Car si leur existence se confirme, une fenêtre expérimentale s'ouvrira sur la gravité quantique.

des trous noirs et accepter qu'il n'existe pas à l'intérieur. "Ce que veulent Polchinski et ses collègues c'est garder Einstein pour décrire la structure du trou noir, et en même temps l'évacuer localement en mettant un mur de feu, ajoute Jean-Pierre Lasota. Cela n'est pas possible !"

### MODIFIER LES LOIS D'EINSTEIN ?

Depuis, les physiciens s'opposent violemment. Même Stephen Hawking est sorti de son silence il y a quelques semaines pour proposer – via un article au titre provocateur, "Il n'y a pas de trous noir" – ni plus ni moins que de modifier les lois d'Einstein autour de l'horizon des événements... "Et c'est là que l'hypothèse de Maldacena et Susskind tombe comme un pavé dans la mare", ajoute Iosif Bena. Avec leur équivalence entre le trou de ver et l'intrication, les deux physiciens parviennent en effet à résoudre le problème : si ER=EPR, il n'y a pas deux particules, une qui entre et une qui sort du trou noir... Le rayonnement de Hawking naît de la formation d'une unique particule qui, placée au centre d'un trou de ver, devient visible des deux côtés de l'horizon !

Pour l'instant, impossible de trancher entre les deux visions. La solution des murs de feu a l'avantage d'être appuyée par des calculs issus

de la théorie des cordes... mais elle met à mal la relativité générale d'Einstein. La solution ER=EPR a l'avantage de proposer une alliance sans heurts des théories quantique et relativiste... mais elle manque pour l'instant d'une base fondamentale. "Une seule chose est sûre pour l'instant : le fuzzball, le mur de feu, et ER=EPR sont les seuls qui peuvent résoudre le paradoxe de l'information sans faire appel à des idées bidon", conclut Iosif Bena.

Les physiciens le sentent. Ils sont sur le seuil de la porte... vers la théorie du tout. "La difficulté a été de transformer un paradoxe en question qui soit à la fois techniquement précise, physiquement raisonnable et que l'on pourra peut-être trancher, explique Constantin Bachas, théoricien à l'Ecole normale supérieure à Paris. On a fait un pas dans cette direction : on a trouvé un problème théorique qui pourrait orienter la recherche d'une théorie de gravité quantique." Que se passe-t-il quand on plonge dans un trou noir ? Voilà la question qui devrait amener les physiciens à réconcilier les atomes, les pommes, les planètes et les étoiles.

A lire : toutes les publications scientifiques, d'Einstein à Maldacena et Susskind. A voir : le débat autour du mur de feu dessiné par John Preskill.

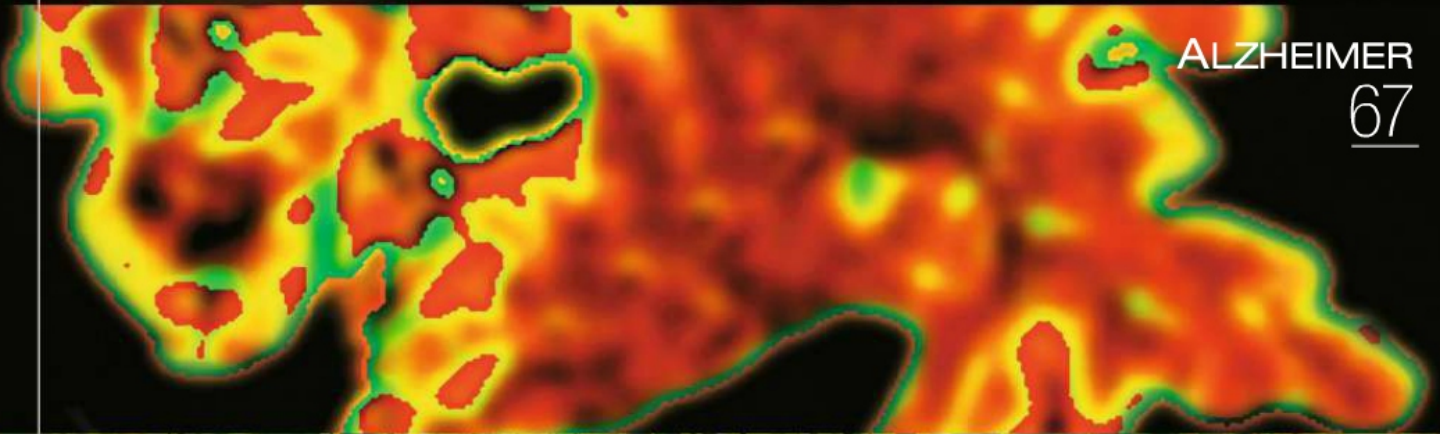
science-et-vie.com

# & Science découvertes

TERRE JUELLE 64



ALZHEIMER 67



MICROCOSMOS 70



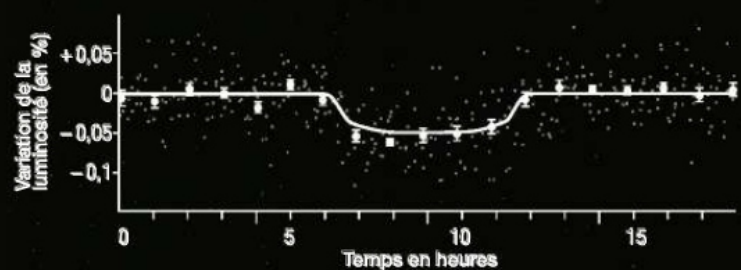
AYUMU 78



✓ Cette vue d'artiste réalisée pour la Nasa montre Kepler 186f avec, au fond, son soleil et les autres planètes qui gravitent autour.

### La preuve par les mesures

La baisse de luminosité de l'étoile démontre qu'une planète passe régulièrement devant elle ; l'intensité et le rythme de ces variations prouvent que cette planète a la taille de la Terre (à 10 % près) et qu'elle se situe dans la zone habitable de son système.



# Kepler 186f

# La Terre a une jumelle

La Terre est loin d'être unique, les astrophysiciens le savent depuis longtemps... Et voici qu'enfin, l'une de ses semblables – la toute première exoterre ! – se dévoile.

Par **Mathilde Fontez**

**“C**'est la première cousine de la Terre”, annonce Steve Howell, astronome à la Nasa. “Presque sa jumelle”, conclut quant à elle Emeline Bolmont, astrophysicienne à l'université de Bordeaux. “C'est en tout cas l'exoplanète la plus habitable à avoir été observée, et de

loin, tranche Geoffrey Marcy, spécialiste des exoplanètes à l'université de Californie, à Berkeley (Etats-Unis). C'est une découverte historique : la première planète de la taille de la Terre trouvée dans la zone habitable autour de son étoile.”

Les astronomes ont découvert, en dehors du système solaire, près de 2000 exoplanètes. Parmi elles, ils estiment que des centaines sont assez petites pour être rocheuses, et que des dizaines d'autres orbitent à la bonne distance de leur soleil – celle qui leur permet d'abriter de l'eau liquide...

Aujourd'hui, ils viennent d'en débusquer une qui remplit ces deux conditions, sans

lesquelles on ne peut imaginer le développement de la vie.

La nouvelle, annoncée le 17 avril par la revue *Science*, a vite fait le tour du monde. Le signal ténu de Kepler 186f – c'est son nom – a été isolé parmi les données du télescope spatial *Kepler*, qui a scruté, en quête d'exoplanètes, 150 000 étoiles entre 2009 et 2013.

Kepler 186f a un rayon de quelque 7 000 km, soit 1,1 fois celui de la Terre. “Avec l'incertitude, elles sont peut-être exactement de la même taille”, s'enthousiasme Geoffrey Marcy.

## DANS LA ZONE HABITABLE

Elle orbite à un peu plus de 50 millions de kilomètres de son étoile, soit approximativement l'orbite de Mercure dans le système solaire... bien plus près, donc, que la Terre. Mais l'étoile qui trône dans le système de Kepler 186f étant plus faible que notre Soleil, les températures à cette distance devraient être clémentes. “Il s'agit d'une naine rouge, précise Elisa Quintana, qui

### Chronologie

**1995** Découverte de la première exoplanète, 51 Pegasi b, par Didier Queloz et Michel Mayor.

**2009** Découverte de la première exoplanète rocheuse, Corot 7b, par le télescope spatial *Corot*.

**2014** Découverte de la première exoplanète rocheuse dans la zone habitable, Kepler 186f, par le télescope spatial *Kepler*.

→ a dirigé l'étude à la Nasa. Elle fait la moitié de la masse du Soleil et rayonne donc beaucoup moins. La zone habitable de ce système, où l'eau peut se trouver à l'état liquide, est par conséquent plus proche de son étoile. Et Kepler 186f est en plein dedans !

Bonne place. Bonne taille. Reste à savoir si Kepler 186f est bien ce que promettent les indicateurs astronomiques : une rocheuse couverte d'océans.

Steve Howell, qui a participé à l'étude. Nous sommes donc convaincus que Kepler 186f a bien une surface solide."

Quant à savoir si elle recèle de l'eau liquide... il y a plus de doutes. En effet, si les étoiles naines peuvent, à l'instar de notre Soleil, émettre assez de lumière pour offrir à leurs planètes des températures clémentes, ces systèmes ont leurs spécificités. La zone habitable étant plus proche du centre,

ce qu'on appelle un piège froid : la face opposée à l'étoile emmagasine toute l'eau et la stocke sous forme de glace."

## TROP LOIN DE NOUS

Sollicitée par la Nasa, la spécialiste a modélisé la dynamique du système pour évaluer la rotation de l'exoplanète. Et son diagnostic est... mitigé : "Peut-être qu'elle tourne encore assez vite sur elle-même... ou peut-être que sa rotation est plus lente et qu'elle est verrouillée sur son étoile. Les deux sont possibles."

Des modèles plus précis, en 3D, ainsi qu'une évaluation de l'âge de l'étoile pourraient dans les mois à venir faire pencher la balance d'un côté ou de l'autre.

Cousine, jumelle ou presque jumelle... Les astronomes s'accordent en tout cas pour célébrer l'instant : ils ont trouvé la première exoplanète de la famille de notre planète bleue.

On ne saura sans doute jamais si elle est habitée. Kepler 186f gravite à 500 années-lumière de la Terre. Beaucoup trop loin pour que les télescopes actuels puissent étudier la composition de son atmosphère. Même le puissant successeur de *Hubble*, le *JWST*, ne verra, dès 2018, que les planètes les plus proches, à quelques dizaines d'années-lumière tout au plus.

Il ne faisait aucun doute qu'une telle planète existait. Ces dernières années, les astronomes se sont même convaincus que dans la galaxie, les planètes habitables se comptent par milliards (voir *S&V* n° 1157, p. 48)... Mais, enfin, l'étape est franchie. Le concept maintes fois fantasmé d'"exo-terre" a pris corps. Celui d'une petite boule perdue au cœur de la constellation du Cygne, dans la Voie lactée : Kepler 186f.

## Même les planètes instables pourraient être habitables

Les systèmes les plus exotiques pourraient être propices à la vie. Modélisant des planètes aux orbites très inclinées, des astrophysiciens ont réalisé qu'elles pourraient bénéficier d'un climat tempéré. "Ces planètes étaient dites inhospitalières car elles ne cessent d'osciller, explique John Armstrong, qui a mené l'étude à l'université de Weber (Etats-Unis). Or, les oscillations peuvent empêcher la glace de s'installer en répartissant l'ensoleillement sur le globe." Ainsi, une terre à l'orbite penchée pourrait abriter de l'eau liquide, même si elle gravite en dehors de la zone habitable. Les astrophysiciens ont commencé à éplucher les centaines d'exosystèmes observés par les télescopes, en quête d'exoplanètes à requalifier d'"habitables".

Une rocheuse ? Elisa Quintana et ses collaborateurs en sont certains. Pas à 100 %, car il leur faudrait connaître sa densité. Or, Kepler 186f a été détectée via la méthode "des transits" (voir graphe p. 64) : en captant l'infime baisse de luminosité de son étoile lorsque la planète passe devant elle, le télescope a pu mesurer son rayon, mais pas sa masse. "Cependant, grâce aux modèles et, surtout, aux autres exemples d'exoplanètes dont la densité a été mesurée, nous savons qu'en dessous de 1,5 rayon terrestre, une exoplanète est rocheuse, explique

les planètes qui y évoluent subissent plus fortement la gravité de leur étoile. Elles peuvent ainsi se trouver bloquées dans leur rotation sur elles-mêmes et présenter toujours la même face à leur soleil, comme la Lune avec la Terre.

Une configuration qui pourrait, dans certains cas, empêcher l'eau de demeurer liquide. "Ces planètes, dites synchronisées, peuvent avoir un climat doux si elles sont entourées d'une atmosphère dense qui redistribue la chaleur, explique Emeline Bolmont. Mais si ce n'est pas le cas, il peut se former

A voir : la vidéo de l'annonce de la découverte par la mission Kepler.  
A lire : la publication scientifique.

**EN SAVOIR PLUS**

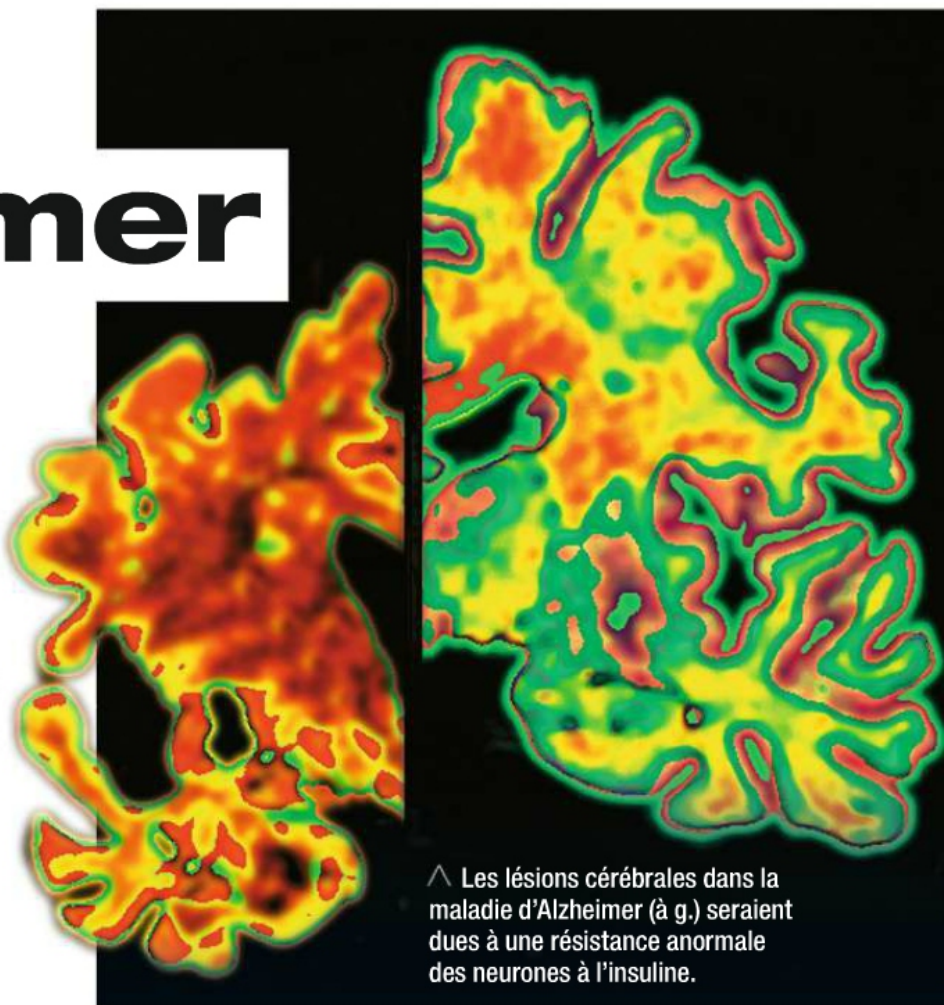
science-et-vie.com

# Alzheimer

## L'hypothèse du diabète

Et si la maladie d'Alzheimer avait pour origine une forme méconnue de diabète ? Cette hypothèse originale défendue par deux chercheuses ouvre des pistes thérapeutiques... voire l'espoir d'une prévention.

Par **Coralie Hancock**



△ Les lésions cérébrales dans la maladie d'Alzheimer (à g.) seraient dues à une résistance anormale des neurones à l'insuline.

“ **L**a maladie d'Alzheimer est un diabète localisé dans le cerveau.” Dans l'univers de la neurologie, cette affirmation a d'abord sonné comme une provocation. D'autant qu'elle émane de deux scientifiques parfaitement respectables : Suzanne de la Monte, de l'université américaine Brown (Rhode Island), et Suzanne Craft, du Wake Forest Medical Center (Caroline du Nord, Etats-Unis). Des lésions

dans le cerveau des malades d'Alzheimer dues à une banale résistance à l'insuline... les deux chercheuses – qui ne travaillent pas ensemble mais partagent les mêmes conclusions – n'hésitent plus à défendre leur explication audacieuse.

Il faut dire que des indices troublants se sont accumulés ces dix dernières années autour d'un lien entre la maladie neurodégénérative et le diabète de type 2, qui se caractérise par un excès chronique de sucre (glucose) dans le sang, en raison d'une résistance des cellules à l'insuline. “Plusieurs dizaines d'études ont montré que ce diabète augmente de 1,5 à 2 fois le risque de développer des lésions de type Alzheimer”, reconnaît Caroline Sanz, diabétologue à la clinique Pasteur

de Toulouse. Sans compter les malades qui n'ont pas encore été diagnostiqués diabétiques mais qui en montrent les premiers signes. Ainsi, en juillet dernier, Raymond Turner (université Georgetown, Etats-Unis) découvrait par hasard, lors de mesures du taux de glucose dans le sang, que 43 % des patients souffrant de la maladie d'Alzheimer étaient en situation de prédiabète.

Pourtant, si le diabète de type 2 constitue, de façon évidente, un facteur de risque de l'Alzheimer, il n'en serait pas pour autant la cause.

David Blum, biologiste au sein de l'équipe Alzheimer et tauopathies (université de Lille/Inserm), confirme : “Quand on dit que le diabète accroît le risque d'Alzheimer,

### Contexte

L'espérance de vie augmente et avec elle, le nombre de personnes touchées par la maladie d'Alzheimer pourrait doubler d'ici à 2030, et même tripler en 2050 ! Et pourtant, plus d'un siècle après sa première description par le médecin allemand Alois Alzheimer, les causes de la pathologie échappent toujours aux médecins...



SUZANNE DE LA MONTE  
Neuropathologiste à l'université  
Brown (Etats-Unis)

*Les récepteurs du cerveau spécifiques à l'insuline sont 80 % moins actifs aux stades les plus avancés d'Alzheimer*

→ on parle d'un diabète touchant l'organisme en général. Or, rien n'indique qu'une résistance à l'insuline dans les cellules du corps, caractéristique du diabète de type 2, induit une même résistance dans le cerveau. Surtout que le cerveau est un organe naturellement à l'abri, comme protégé du reste de l'organisme par des règles biologiques qui lui sont propres. Le diabète de type 2 pourrait toucher l'organisme et épargner le cerveau.

### UN 3<sup>e</sup> TYPE DE DIABÈTE ?

Tous les diabétiques ne développeront donc pas une maladie d'Alzheimer et inversement, les patients souffrant d'Alzheimer ne sont pas tous diabétiques. Voilà pourquoi Suzanne de la Monte souhaiterait ajouter le "diabète de type 3" – celui qui atteint précisément le cerveau et dont découlerait la maladie neurodégénérative – aux deux

autres membres de la famille déjà répertoriés, les types 1 et 2.

"Indéniablement, diabète et Alzheimer ont beaucoup de mécanismes en commun", reconnaît Florence Pasquier, neurologue au CHU de Lille. Ainsi, en 2005, Suzanne de la Monte montrait, après avoir autopsié le cerveau de personnes décédées de la maladie d'Alzheimer, que l'action de l'insuline dans le cerveau déclinait graduellement au cours de l'évolution de la maladie. "Aux stades les plus avancés de la pathologie, les récepteurs spécifiques à l'insuline sont 80 % moins actifs que dans un cerveau normal. De plus, l'insuline se lie beaucoup moins bien à ces récepteurs", explique-t-elle. De la même manière que les cellules des diabétiques deviennent peu à peu insensibles à l'insuline produite par le pancréas pour réguler la glycémie, les neurones des patients souffrant de la maladie d'Alzheimer semblent, eux aussi, devenir résistants à l'hormone.

## Les autres pistes "iconoclastes"...

L'une des plus anciennes hypothèses concernant l'origine de la maladie d'Alzheimer est celle d'un déficit en acétylcholine, un neurotransmetteur impliqué dans les circuits neuronaux de la mémoire. Une théorie sur laquelle s'appuient quelques-uns des rares traitements aujourd'hui utilisés. Leur efficacité très limitée, voire nulle, lui a fait perdre du crédit. D'autres postulats, plus iconoclastes, ont aussi vu le jour : infection virale, notamment par le virus de l'herpès (voir *Science & Vie* n° 1133, p. 46), surexposition à certains métaux (cuivre, aluminium), pollution de l'air, etc.

## Comment la résistance à l'insuline dégrade le neurone

### 1 L'insuline se fixe moins sur le neurone

Les récepteurs neuronaux à l'insuline deviennent moins actifs. L'apport en glucose, indispensable au neurone, n'est plus suffisant.



frant de la maladie d'Alzheimer semblent, eux aussi, devenir résistants à l'hormone.

Et cela n'est pas sans conséquence sur les neurones. "L'insuline, indispensable pour faire entrer le glucose dans les neurones d'un cerveau sain, participe aussi à la maintenance et à la réparation des synapses. Si l'action de l'insuline est perturbée, les neurones peuvent être altérés", explique Florence Pasquier. Qui ajoute : "L'insulino-résistance augmente également le stress oxydatif et les mécanismes inflammatoires, qui peuvent favoriser la dégénérescence des neurones." (Voir infographie ci-dessus.)

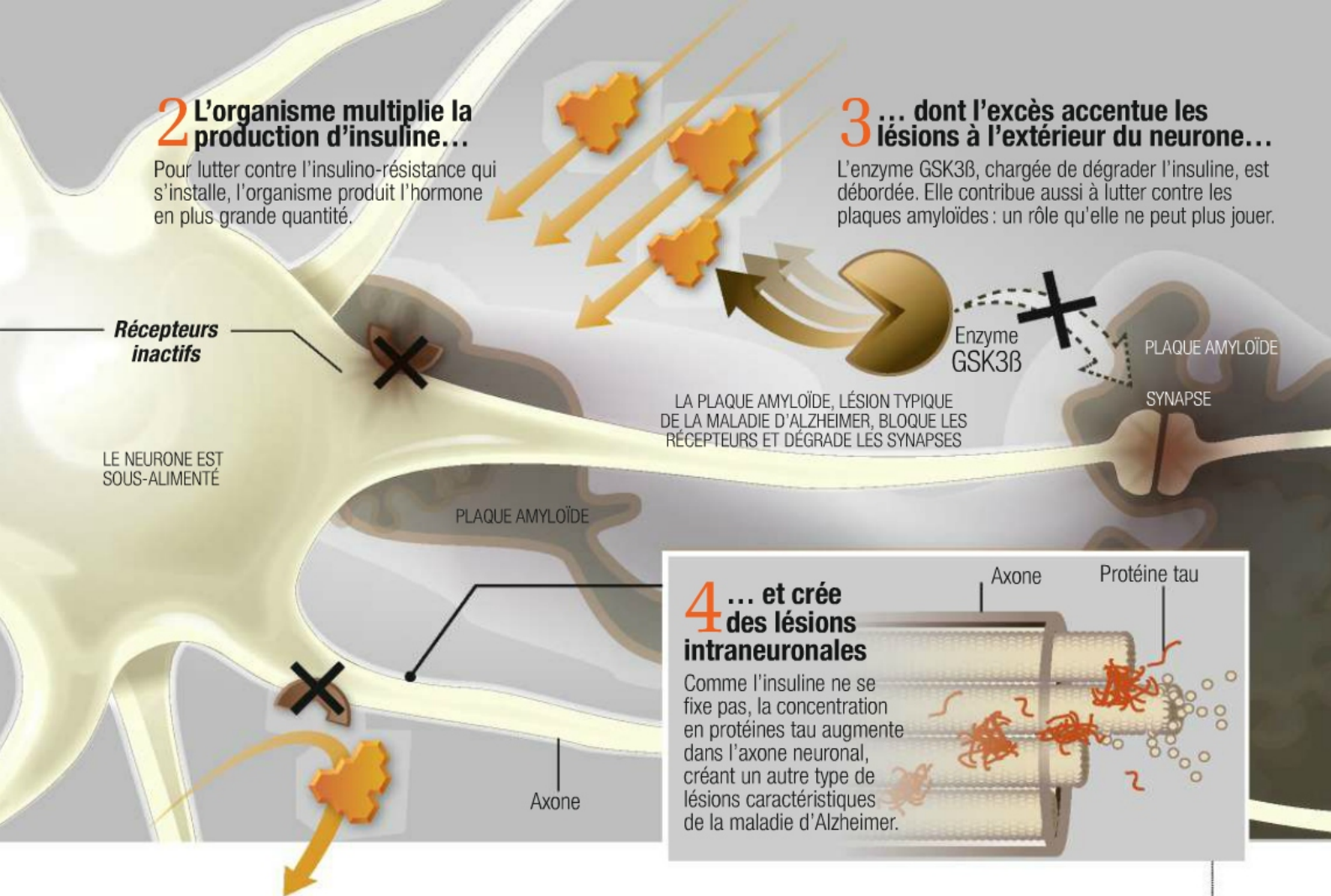
Autres éléments troublants, des traitements classiques du diabète de type 2 montrent une certaine efficacité sur la maladie d'Alzheimer. "Les molécules de la famille de la thiazolidinedione, utilisées

## 2 L'organisme multiplie la production d'insuline...

Pour lutter contre l'insulino-résistance qui s'installe, l'organisme produit l'hormone en plus grande quantité.

## 3 ... dont l'excès accentue les lésions à l'extérieur du neurone...

L'enzyme GSK3 $\beta$ , chargée de dégrader l'insuline, est débordée. Elle contribue aussi à lutter contre les plaques amyloïdes : un rôle qu'elle ne peut plus jouer.



pour augmenter la sensibilité à l'insuline, sont aussi capables d'améliorer les déficits cognitifs sur les modèles animaux atteints d'Alzheimer", souligne Olivier Thibault, de l'université du Kentucky (Etats-Unis).

### DES TRAITEMENTS COMMUNS

Quant à la metformine, le médicament antidiabétique par excellence, l'équipe de Freda Miller, de l'université de Toronto (Canada), montrait en 2012 qu'elle favorisait la croissance neuronale et améliorerait les capacités d'apprentissage chez la souris.

Les essais sur l'homme n'ont pas démarré, mais "des études épidémiologiques semblent montrer que les patients souffrant à la fois de diabète et de la maladie d'Alzheimer et placés sous metformine voient cette dernière progresser plus lentement", note Florence Pasquier.

L'hypothèse du diabète de type 3 ne fait pourtant pas l'unanimité. "L'excès de sucre suffit à provoquer des micro-lésions vasculaires dans le cerveau et il est possible qu'à cause d'elles, celui-ci résiste moins bien à l'accumulation des plaques amyloïdes [appelées aussi "plaques séniles", typiques de la maladie, formées par le dépôt, à l'extérieur des neurones, de la protéine bêta-amyloïde]", note Caroline Sanz.

De son côté, l'équipe de David Blum démontrait l'année dernière sur des souris que si l'obésité aggravait d'autres lésions de la maladie, caractérisées par l'agrégation de la protéine tau à l'intérieur des neurones, et favorisait la perte de mémoire, pour autant, elle n'entraînait pas de résistance à l'insuline. "L'insulino-résistance ne semble pas être la condition sine qua non à l'apparition

des lésions caractéristiques d'Alzheimer. D'autres dysfonctionnements, notamment ceux impliqués dans les voies lipidiques, expliquent peut-être les liens entre obésité, diabète et maladie d'Alzheimer", commente le biologiste.

L'Alzheimer se révélera-t-elle effectivement être une maladie métabolique comme les autres ? Si tel était le cas, non seulement de nouvelles pistes thérapeutiques seraient défrichées... mais un autre changement plus inattendu encore se profilerait : la prévention ! "Manger mieux et faire de l'exercice n'empêcheront certes pas la maladie d'Alzheimer d'apparaître, mais il semble de plus en plus évident qu'on pourra en retarder l'apparition... et en freiner le développement", conclut Florence Pasquier. La fatalité de la maladie d'Alzheimer n'en serait plus totalement une.

A voir : les chiffres, la prise en charge, les derniers essais cliniques. **EN SAVOIR PLUS**  
science-et-vie.com



# Microbes terrestres **Voici le vrai microcosmos**

Ils sont partout, dans la terre, les océans, les déserts... Et grâce aux dernières techniques de séquençage, les bouleversantes épopées qu'ils vivent sous nos pieds sont enfin révélées. Plongée dans le monde des microbes souterrains, véritables stars du film de la vie.

Par Elsa Abdoun



### Enjeux

L'écologie doit aujourd'hui regarder à travers le microscope. Les microbes, maillons essentiels des écosystèmes, sont perturbés par les modifications que les humains exercent sur leur environnement. Les conséquences sont potentiellement considérables.

ILLUSTRATION

**C'**est là que tout se joue. Là que s'écrivent les plus grandes épopées et les pires scénarios catastrophe. Là? Sous nos yeux – ou plutôt sous nos pieds. Et à une échelle qui nous dépasse, tant elle nous est inférieure: celle du micro-mètre. Car le vrai microcosme n'est pas tant celui des vers de terre ou des composés organiques responsables du bon terreau: c'est au niveau des microbes que la Terre cache le sel de sa vie. A cette échelle se dévoile le véritable royaume du vivant, pilier invisible et souterrain sur lequel reposent tous les écosystèmes de la planète. Ce dont nul n'avait pris jusqu'ici la pleine mesure.

Certes, depuis qu'à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, les scientifiques, armés de leurs microscopes, se sont penchés sur ces drôles d'organismes, leur importance capitale n'a fait qu'apparaître de manière toujours plus évidente.

D'abord parce qu'ils forment un monde très divers, réparti

dans les trois grands domaines de la vie: les bactéries, les eucaryotes (des organismes dont l'ADN est contenu dans un noyau, tels les champignons ou les algues microscopiques) et les archées (des organismes unicellulaires particuliers).

Ensuite, parce que ces microbes sont présents absolument partout: en symbiose ou en parasitisme chez les plantes et les animaux, mais aussi dans les océans, les lacs, les déserts, les forêts, flottant sur l'eau ou cachés dans les premiers mètres sous la surface terrestre...

#### LES AUTRES ÊTRES VIVANTS RÉUNIS PÈSENT MOINS LOURD

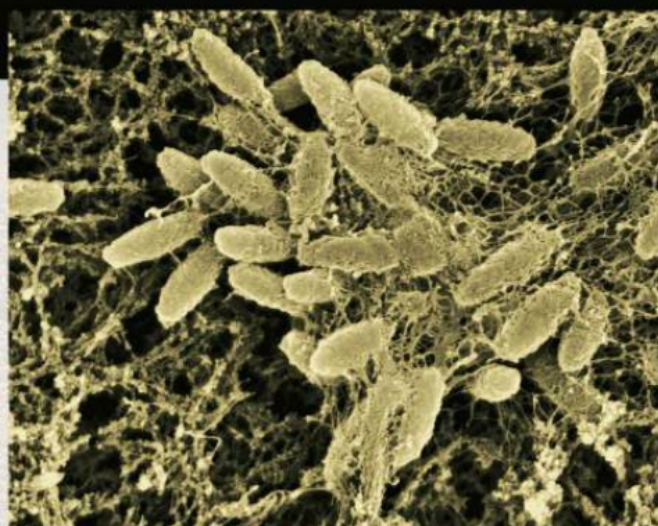
*"Ils représentent plus de 50 % de la biomasse mondiale",* estime Brajesh Singh, professeur en écologie microbienne à l'université occidentale de Sydney. Autrement dit, si l'on pesait tous les animaux et les plantes présents sur Terre et dans les océans, y compris la baleine, le baobab ou les 7 milliards d'êtres humains... leur

masse serait inférieure à celle de l'ensemble des microbes qui nous entourent!

Enfin, ces microbes ont été identifiés comme un maillon indispensable au fonctionnement des écosystèmes et au cycle de la vie. Notamment dans le sol, où les bactéries transforment l'azote atmosphérique en nitrates et décomposent la matière organique morte en nutriments que les plantes consomment. Ou dans les océans, où les cyanobactéries produisent 40 % de l'oxygène atmosphérique – c'est d'ailleurs grâce à elles que l'atmosphère terrestre s'est chargée en oxygène, il y a 2,4 milliards d'années, et que de la vie plus complexe, macroscopique, a pu se développer. En un mot, *"la Terre est une planète microbienne"*, résume Brajesh Singh.

Sauf que jusqu'à il y a une dizaine d'années, cet empire souterrain n'intéressait guère les écologues.

Il faut dire que leur taille microscopique implique que



## Dans les prairies

### Les acidobactéries fuient la sécheresse

Une sécheresse associée à une hausse des températures de 2 °C, et toute la composition microbienne des prairies d'Oklahoma est bouleversée. La quantité d'acidobactéries, notamment, diminue. Cette classe de bactéries encore mal connues joue un rôle écologique probablement très important, puisqu'elle figure en grande quantité dans la plupart des écosystèmes...

les microbes sont capables de se déplacer sur de très longues distances, grâce au vent. Les scientifiques ont donc été amenés à postuler que les populations microbiennes étaient globalement les mêmes partout dans le monde.

De plus, leur nombre quasi infini et leur multiplication très rapide indiquent qu'ils peuvent vite s'adapter à tous types d'environnements, ce qui a longtemps laissé supposer qu'ils étaient peu sensibles aux bouleversements de ces derniers.

Et le sujet était d'autant plus délaissé que, jusqu'à la fin des années 1990, *"ces microbes ne pouvaient pas être étudiés puisqu'ils sont incultivables"*, raconte Tanja Woyke, directrice du programme de génomique microbienne au laboratoire national Lawrence-Berkeley (Etats-Unis). Ainsi, moins de

1 % des microbes survivent hors de leur milieu naturel. Or, pendant longtemps, leur multiplication en laboratoire était indispensable au séquençage de leur génome.

### LA CLÉ DU DESTIN DE TOUS LES ÉCOSYSTÈMES

Mais au tournant du millénaire, l'amélioration rapide des techniques de séquençage des génomes a tout changé. Une nouvelle méthode, la métagénomique, a alors été développée pour permettre d'étudier les gènes de toutes les espèces de microbes présents dans un même échantillon de prairie, de lac ou de forêt, sans avoir à les cultiver en laboratoire.

Désormais, quelques molécules d'ADN suffisent pour être séquencées avec une grande fidélité. Il n'est plus nécessaire de multiplier les

## Faits & chiffres

Les microbes sont apparus sur Terre il y a **3,5 à 3,8 milliards d'années**. Ils seraient aujourd'hui **10<sup>30</sup>**, répartis en des millions voire des milliards d'espèces de bactéries, eucaryotes et archées, représentant plus de **50 % de la biomasse terrestre**. Environ **95 %** de ces micro-organismes resteraient encore **à découvrir**.

microbes au préalable dans des boîtes de Petri.

Les microbiologistes peuvent ainsi identifier de nouvelles espèces, notamment celles qu'ils ne parvenaient pas à cultiver *in vitro*, et prédire leur fonctionnement biologique. De quoi prendre la mesure de l'ignorance dans laquelle ils se trouvaient face aux microbes qui partagent notre planète. Et de quoi admettre qu'ils sont en fait les acteurs principaux de la vie terrestre, la clé du destin de tous les écosystèmes... *"Les microbes contrôlent quasiment toutes les autres formes de vie"*, assène Roberto Danovaro, professeur en écologie à l'université polytechnique des Marches (Italie).

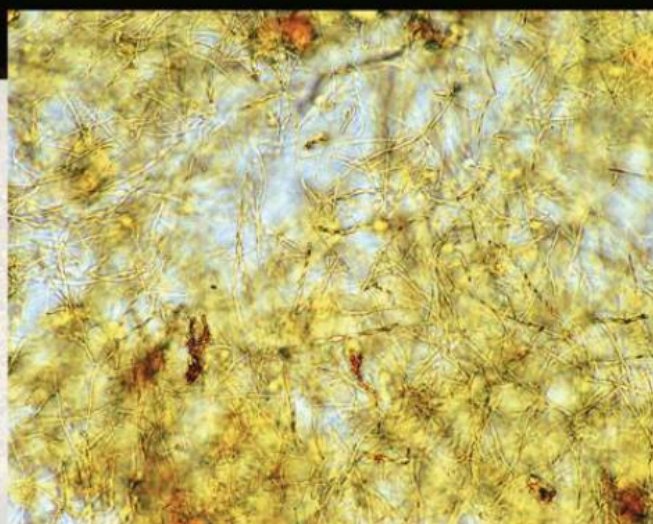
Première surprise: *"Ces microbes sont cent fois, mille fois plus variés que ce que l'on pensait"*, affirme Marc-André



## Dans les forêts

### Les Gemmatimonadetes sont victimes des coupes

En Amazonie, la disparition des arbres en surface entraîne la disparition d'espèces microbiennes endémiques en sous-sol... Même les groupes adaptés à de nombreux environnements, tels que les *Gemmatimonadetes* présents aussi bien dans les prairies que sur les sols cultivés, voient leur population diminuer.



→ Sélosse, professeur au Muséum national d'histoire naturelle, spécialiste des champignons microscopiques du sol. Même si l'estimation reste floue, il y aurait *"dans 1 gramme de terre, entre plusieurs dizaines de milliers et plusieurs millions d'espèces de bactéries"*, évalue Brajesh Singh.

Deuxième surprise : le micromonde n'est pas aussi homogène qu'on l'imaginait. Deux études publiées en 2003 – sur des archées et sur des cyanobactéries – ont ainsi montré que les populations de ces microbes ne sont pas les mêmes dans des sources chaudes situées en différents points du globe. Il existerait une diversité globale, mais aussi de multiples écosystèmes microbiens, composés de diverses espèces, selon l'endroit où ils se trouvent.

Un constat s'impose donc : *"La plus grande diversité de la planète se trouve dans le sol"*, résume Garreth Griffith, profes-

seur en mycologie à l'université d'Oslo (Norvège).

Autre surprise du micromonde : l'immensité de son influence sur le macromonde. Car la métagénomique permet non seulement d'identifier de nouvelles espèces, mais aussi les gènes dont ces dernières sont porteuses... et donc de prédire leur fonctionnement biochimique. De quoi révéler des pouvoirs jusqu'ici inconnus.

## Ce micromonde est en première ligne face aux perturbations humaines

*"On a récemment découvert, chez des bactéries, une activité métabolique jusqu'alors parfaitement inconnue qui permet de recycler l'azote en l'absence d'oxygène"*, relève Marc-André Sélosse. Une fonction qui s'est depuis révélée avoir un rôle crucial dans la plupart des

écosystèmes, que ce soit dans la dénitrification des sols ou dans le recyclage de l'azote soluble dans les océans...

Même les microbes déjà connus surprennent encore par l'ampleur de l'influence qu'ils exercent sur les écosystèmes. A commencer par les champignons microscopiques, qui joueraient un rôle majeur dans l'apparition des espèces végétales invasives. C'est ce que suggère une étude publiée en 2002 par John Klironomos, de l'université de Guelph (Canada) : ces plantes accumulent plus lentement que les autres les champignons pathogènes au niveau de leurs racines, ce qui leur permet de proliférer.

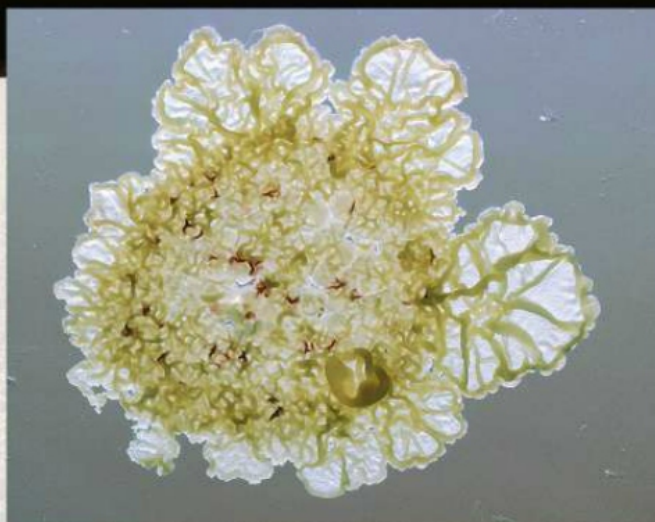
Et ces champignons pathogènes s'avèrent aussi indispensables au maintien de la très grande biodiversité des forêts tropicales. Cette hypothèse, formulée dès 1970 par les écologues Daniel Janzen et Joseph Connell, a été confirmée

C. NURDARY LM PERENN/SPL COSMOS - C. CALA

## Dans les montagnes

### Les actinobactéries grouillent sous le bétail

Le pâturage des yaks dans les montagnes tibétaines modifie profondément les cycles biogéochimiques dans le sol : les actinobactéries, qui produisent des nitrates, prolifèrent, alors que les bactéries générant du méthane diminuent... Les génomes sont également modifiés avec, par exemple, l'apparition de gènes de résistance aux antibiotiques.



## Les microbes, un nouvel outil pour contrôler les écosystèmes ?

Si les perturbations accidentelles des microbes terrestres font craindre des conséquences délétères pour notre environnement, peut-on imaginer, à l'inverse, se servir de ces microbes pour contrôler les écosystèmes ? Plusieurs expériences semblent déjà l'affirmer. Notamment pour restaurer des prairies ou des forêts sur d'anciennes zones agricoles. Il est ainsi plus facile d'y réintroduire la plante *Sporobolus wrightii*, typique des prairies et zones humides d'Amérique du Nord, si les plants sont préalablement inoculés avec certains champignons microscopiques.

Une autre étude récente montre que des bactéries photosynthétiques, les cyanobactéries, peuvent aider à contrer l'expansion du désert : implantées sur 30 kilomètres à la frontière est du désert Kubuqi, en Mongolie-Intérieure, elles ont entraîné, en huit ans, le développement de mousses et lichens. Cette croûte stabilise la surface du sol.

Autre piste : introduire des microbes pathogènes pour éliminer certaines espèces invasives (plantes, mais aussi petits invertébrés). Mais cette solution n'a pas encore été testée en conditions naturelles, à cause des risques potentiels, et encore non maîtrisés, pour les autres espèces présentes.

en février dernier par des chercheurs de l'université d'Oxford (Grande-Bretagne). Après avoir aspergé de fongicides des parcelles d'une forêt au Belize, ces derniers ont observé que la disparition des champignons entraînait une diminution de la biodiversité végétale.

La raison ? Les microbes pathogènes prolifèrent plus facilement au sein des espèces do-

minantes, dont les individus, physiquement proches, sont présents en très grand nombre. Les champignons les empêchent alors de trop s'étendre et d'éliminer d'autres espèces moins avantageées. Les rapports de force au sein de l'écosystème se trouvent ainsi rééquilibrés.

Mais la plus grande surprise de ce microcosmos réside dans son instabilité. Présents dans

tous les coins de la Terre depuis des milliards d'années, les écosystèmes microbiens, que les chercheurs pensaient très stables, se révèlent en réalité capables de se transformer de fond en comble lorsqu'ils sont soumis à des changements environnementaux.

### SENSIBLE À L'ENVIRONNEMENT

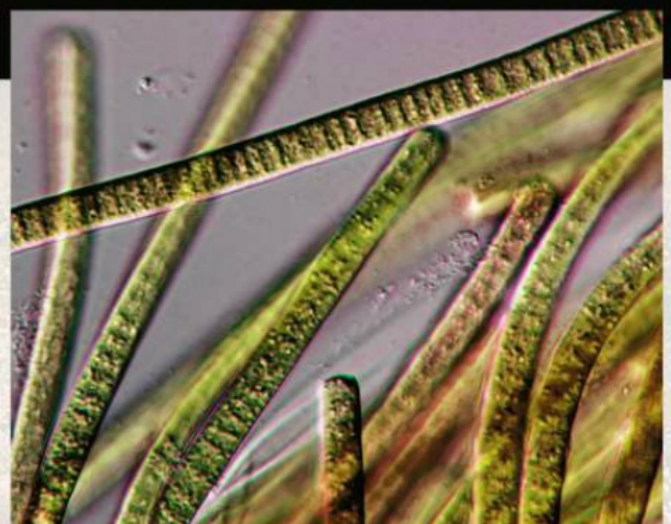
Ce monde invisible s'avère ainsi être en première ligne face aux nombreuses perturbations imposées par l'homme. Une équipe de chercheurs américains et brésiliens a par exemple révélé l'année dernière que la destruction de la forêt amazonienne entraîne une baisse de la biodiversité bactérienne, et notamment la disparition de certaines souches endémiques. La même année, des chercheurs de l'université



## Dans les déserts

### *Microcoleus vaginatus* cède au réchauffement

Dans les déserts d'Amérique du Nord, la cyanobactérie *Microcoleus vaginatus* assure la fertilité et la stabilité des sols en favorisant l'apparition de mousses et lichens. Avec le réchauffement climatique, elle devrait laisser la place d'ici 50 ans à *Microcoleus steenstrupii*, au profil très différent. Avec des conséquences encore inconnues sur l'érosion des sols.



→ Tsinghua (Chine) ont montré combien les populations microbiennes étaient perturbées, sur le plateau tibétain, par le pâturage des moutons et des yaks, qui non seulement consomment l'herbe des prairies, mais les piétinent et y défèquent. Les sols s'en trouvent enrichis en bactéries produisant des nitrates, et la proportion de celles impliquées dans la production de méthane et dans le cycle du carbone diminue.

Les exemples de ce type sont légion : pollution d'un lac aux métaux lourds, aquaculture sur les côtes méditerranéennes, ramassage du bois mort dans les forêts du pays Basque, émissions globales de CO<sub>2</sub>... partout, les microbes se montrent sensibles aux modifications de leur environnement, quelles qu'elles soient.

Le changement climatique lui-même a un impact sur les écosystèmes microbiens. L'année dernière, une équipe de l'université d'Etat de l'Arizona

## Le corps humain, l'autre planète microbienne

En même temps que les écologues prennent conscience de l'importance des microbes dans le fonctionnement des différents écosystèmes terrestres, les médecins découvrent celle des bactéries intestinales pour la santé humaine. Ainsi, tandis que le projet "Microbiome terrestre" vise à déterminer les communautés microbiennes associées à différents environnements, d'autres projets s'attaquent en parallèle au séquençage du microbiome humain, afin de déterminer les espèces associées à certains groupes de personnes, caractéristiques physiologiques ou maladies. Surprise : leur rôle se révèle, là aussi, crucial, les bactéries intestinales étant impliquées aussi bien dans le métabolisme et l'immunité que dans notre santé mentale (voir S&V n° 1088 et 1133 et S&V HS n° 261)...

(Etats-Unis) a, par exemple, montré combien les cyanobactéries assurant la fertilité des sols du désert nord-américain sont dépendantes des températures : quelques degrés de plus suffisent à remplacer une souche de bactéries dominantes par une autre.

Et les microbes du sol s'avèrent aussi capables, en retour, d'influencer le climat de la planète. "Nous étudions actuellement la manière de les inclure dans nos modèles

de changements globaux", explique Brendan Bohannon, directeur d'un laboratoire d'étude de la biodiversité microbienne à l'université d'Oregon (Etats-Unis). L'implication des microbes dans les flux de CO<sub>2</sub>, de méthane et de diazote invite à en tenir compte dans les prédictions du changement climatique à venir : "Actuellement, les microbes ralentissent le changement climatique, notamment en consommant du CO<sub>2</sub>. Mais on est dans une

ROCKY MOUNTAIN LAB/NIH - UEM



## Dans les fonds marins

### Les delta-protéobactéries profitent de l'aquaculture

Dans les sédiments des côtes méditerranéennes, sous les bassins des fermes aquacoles, les virus prolifèrent et tuent des populations bactériennes. En conséquence, les delta-protéobactéries, impliquées dans le cycle du soufre, dominent. Résultat : une décomposition plus efficace de la matière organique, et des effets possibles sur la chaîne alimentaire.

situation d'équilibre très délicate, explique Roberto Danovaro. Il pourrait être intéressant d'identifier le point de bascule à partir duquel ils pourraient au contraire l'aggraver."

Une importante étude, publiée en avril dernier, abonde dans ce sens: elle suggère que la plus grande extinction d'espèces que la Terre ait connue, il y a 252 millions d'années, était en fait due... à la multiplication d'un nouveau type de microbes!

### UN PROJET INTERNATIONAL, LE "MICROBIOME TERRESTRE"

La forte activité volcanique de l'époque aurait en effet entraîné le dépôt d'importantes quantités de nickel dans les océans, permettant ainsi la multiplication d'archaebactéries qui s'en nourrissent. Ces microbes sont capables de convertir le carbone organique en méthane... rien de moins qu'un des plus puissants gaz à effet de serre que l'on connaisse.

Les raisons de continuer à sonder nos sous-sols à la re-

cherche des plus petites formes de vie qui y grouillent sont donc nombreuses.

Diversité, fonctions, perturbations... dans ce qui était encore il y a peu la matière noire du vivant, les découvertes s'enchaînent beaucoup plus vite qu'à la surface de la Terre. Et un tout nouveau tableau du rôle écologique du microcosmos se dessine... Mais un tableau encore abstrait, qui soulève plus de questions qu'il ne dessine véritablement d'horizon.

Jusqu'où faut-il s'inquiéter de l'impact des bouleversements environnementaux actuels sur le monde microbien? La confirmation de leur infinie diversité doit-elle nous rassurer sur le fait que quelques espèces disparues pourront toujours être remplacées par d'autres? La découverte de la spécificité de chaque écosystème microbien à travers le monde n'implique-t-elle pas, cependant, que certaines espèces sont uniques, donc potentiellement irremplaçables?

La plongée dans ce nouveau monde ne fait que commencer.

"Aujourd'hui, on estime qu'on connaît environ 5 % de toute la diversité génétique des bactéries et des archées", rapporte Tanja Woyke.

Pour pouvoir un jour connaître les 95 % restants, la chercheuse participe aujourd'hui à un grand projet international qui prévoit de séquencer, en dix ans, les génomes de 500 000 nouvelles espèces microbiennes, grâce à l'analyse de 200 000 prélèvements de terre, de glace ou d'eau à travers le monde: "De nombreux laboratoires prélèvent actuellement des échantillons dans la mer Morte, les fjords..."

Baptisé "Microbiome terrestre", ce projet est le pendant écologique du vaste programme d'étude du microbiome humain qui, depuis dix ans, révolutionne biologie et médecine (voir l'encadré page ci-contre).

Une consécration pour les acteurs invisibles du microcosmos, enfin reconnus comme les véritables maîtres du macro-monde...

A voir : une vidéo-conférence sur la génomique et les microbes.

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

A consulter : le site Earth Microbiome.

science-et-vie.com

EN SAVOIR PLUS

## Dans la toundra

### Les *Methylocystaceae* agissent sous la glace

En Alaska, la fonte du pergélisol due au réchauffement climatique risque de provoquer des émissions de méthane en augmentant la dégradation de matière organique par les microbes. Mais des bactéries se nourrissant de méthane, comme les *Methylocystaceae*, récemment découvertes sous la glace, pourraient sauver la situation en diminuant ces émissions.



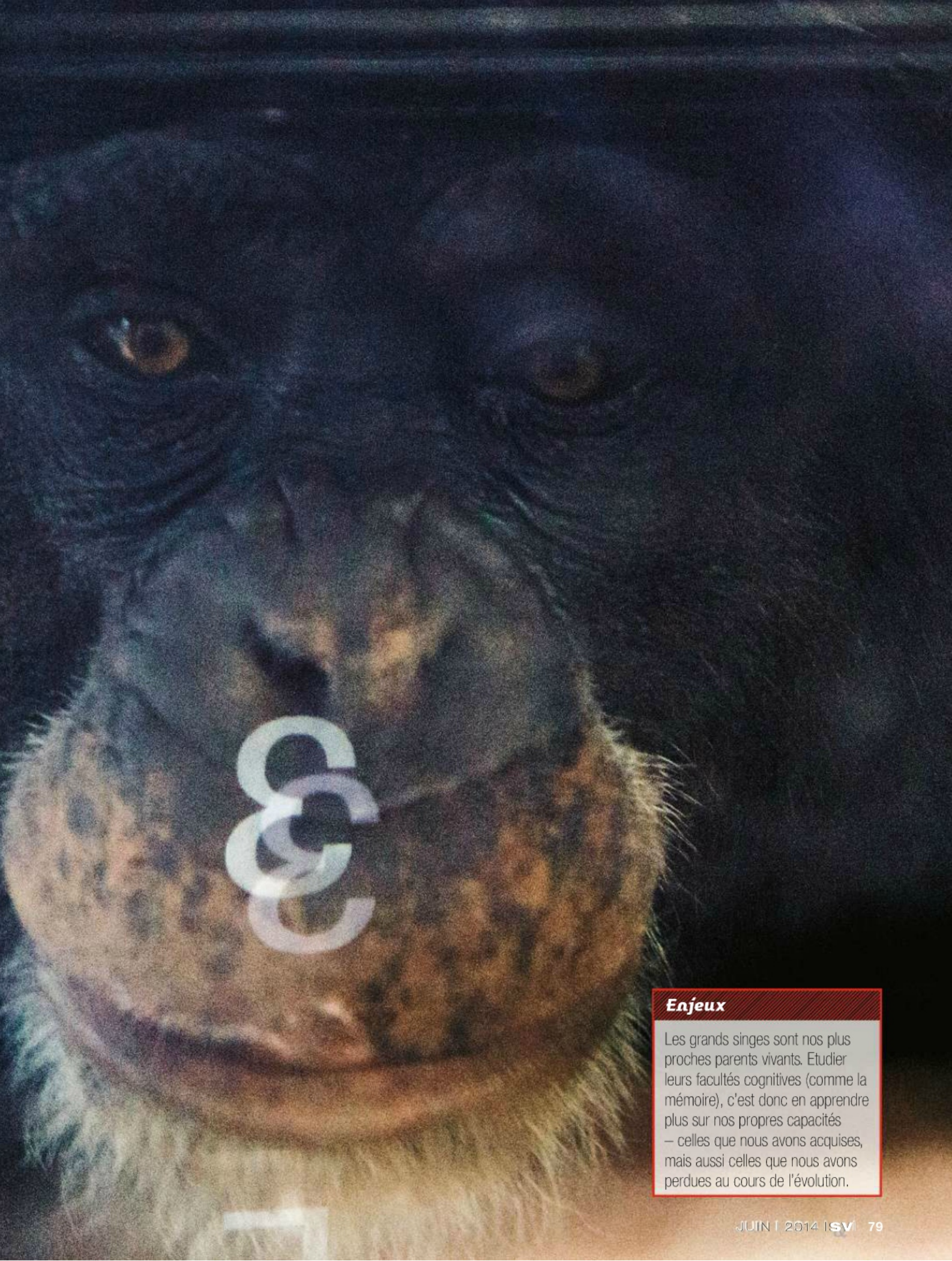
# Ayumu

## Champion du monde de Memory

Bluffant : au Japon, un chimpanzé sait reproduire de mémoire des suites numériques à peine entrapergues. Entraînés, ses congénères feraient aussi bien... quand l'homme, lui, en est incapable ! De quoi bousculer nos certitudes sur la prétendue supériorité des capacités cognitives de l'humain.

Par **Rafaële Brillaud**  
*envoyée spéciale à Inuyama*

Reportage photo : **Jérémie Souteyrat**



### **Enjeux**

Les grands singes sont nos plus proches parents vivants. Étudier leurs facultés cognitives (comme la mémoire), c'est donc en apprendre plus sur nos propres capacités – celles que nous avons acquises, mais aussi celles que nous avons perdues au cours de l'évolution.



## LE SINGE BAT L'HOMME À PLATE COUTURE

A l'Institut de recherche sur les primates de l'université de Kyoto, le singe Ayumu fait preuve d'une mémoire immédiate hors norme. Le test est simple : sur l'écran, des chiffres apparaissent dans le désordre, avant d'être masqués par des carrés blancs ; il faut alors les pointer de mémoire dans l'ordre croissant. Quand les chiffres 1 à 9 ne sont visibles que 210 milli-secondes, Ayumu affiche 80 % de bonnes réponses (récompensées par un fruit, à dr.), contre moins de 40 % pour l'humain.

**D**ans un vacarme assourdissant, le chimpanzé compte. Accroupi face à un écran tactile, Ayumu réalise des suites numériques allant de 1 à 19. Les chiffres apparaissent brièvement dans le désordre, puis sont masqués par des carrés blancs. L'animal doit alors reconstituer la série de mémoire. Son père Akira cogne et crie avec violence derrière la paroi transparente qui sépare les chimpanzés des scientifiques ; la présence d'étrangers dans la salle l'a mis dans une colère noire. Ayumu, imperturbable, aligne les succès avec une désarmante facilité.

Le prodige se renouvelle chaque jour à l'Institut de recherche sur les primates de l'université de Kyoto (Kupri), au Japon. Sur l'écran, des chiffres apparaissent puis disparaissent avant même que l'œil humain n'ait le temps de tous les apercevoir. Ayumu, lui, les mémorise et parvient à les classer à l'aveugle par ordre croissant.



Mieux : il s'interrompt parfois, regarde distraitement ailleurs, puis se concentre à nouveau et achève un sans-faute.

"N'essayez pas, vous êtes incapable d'en faire autant...", souffle Tetsuro Matsuzawa à l'oreille du visiteur éberlué. Et le primatologue sait de quoi il parle : ses étudiants ont défié l'animal à ce Memory numérique. Ils ont tous été battus à plate couture.

La découverte bouscule nos certitudes. Ayumu, comme ses

congénères de l'espèce *Pan troglodytes*, a une mémoire immédiate exceptionnelle, largement supérieure à la nôtre ! Le chimpanzé, dont les facultés cognitives ont toujours été minorées, voire purement et simplement niées, se révèle dans certaines situations plus doué qu'*Homo sapiens*. L'homme dégringole de son piédestal.

Considéré comme "l'un des experts les plus influents sur la cognition des primates" par le célèbre primatologue Frans

T. MATSUZAWA



de Waal, Tetsuro Matsuzawa en est convaincu: les performances d'Ayumu en disent long sur notre propre intelligence.

Le scientifique observe les chimpanzés depuis près de quarante ans. Pour lui, nos cousins primates, avec qui nous partageons un ancêtre vieux de quelque 6 millions d'années, sont le miroir de nos propres facultés cognitives: *"Les chimpanzés étant nos plus proches parents vivants, leur cerveau est étroitement lié au nôtre. Nous comparer à eux, c'est une façon unique de mettre en lumière les origines évolutives de la nature humaine."*

#### UNE COMPLICITÉ FRUCTUEUSE

Au Kupri d'Inuyama, près de Nagoya, le rituel est bien rodé. Deux sessions d'exercices le matin, deux l'après-midi, par paires de chimpanzés. Dès 9 heures, la pièce équipée de deux box vitrés est éclairée. Les fruits sont découpés en menus morceaux. Tetsuro Matsuzawa et ses trois assistantes

attendent: *"Tout dépend de la bonne volonté des chimpanzés. Nous n'avons aucun moyen de les faire venir s'ils n'en ont pas envie."* La pièce vide résonne des cris des 14 grands singes qui s'ébattent derrière la cloison, dans leur espace haut de 15 mètres avec vue sur la ville.

Au bout d'une heure, Aï apparaît. Seule. Ayumu n'est pas porté sur les maths aujourd'hui, une femelle est en chaleur.

*"Touch!"*, lance le scientifique, qui s'adresse aux primates en anglais afin qu'ils puissent distinguer ses ordres des discussions entre chercheurs. Aï frappe l'écran, les exercices commencent et s'enchaînent. A chaque bonne réponse, un petit balai pousse un morceau de fruit qui dégringole dans les tuyaux et atterrit dans la paume du grand singe. Au bout d'un moment, Aï s'assoit dans un coin. Ça ne l'amuse plus, fin de la partie.

Tetsuro Matsuzawa entre alors dans la cage en poussant de puissants cris. *"Je parle*

*comme eux, j'essaie d'être un chimpanzé pour mieux les comprendre"*, dit l'homme qui se laisse examiner la nuque et l'arrière des oreilles, déboutonner la chemise. Quand d'autres scientifiques prônent la distance pour ne pas troubler l'animal, une telle intimité apparaît surprenante. Serait-ce une des clés du succès de ce projet?

Entre Aï et le primatologue, tout a commencé en 1977 par un coup de foudre. Philosophe de formation, Tetsuro Matsuzawa est alors un chercheur de 27 ans qui n'a travaillé que sur la vision humaine et le cerveau des rats. Lorsqu'on lui confie Aï ("amour" en japonais), âgée d'un an, il n'a jamais croisé de chimpanzé et doit tout inventer: il ne dispose pas d'étude sur laquelle s'appuyer; il n'a ni collègue ni prédécesseur. *"Il n'y avait qu'elle et moi"*, sourit le scientifique qui est aujourd'hui à la tête de l'unique centre de recherche en primatologie de l'archipel, fort d'une quarantaine de professeurs.

→ “J’étais stupéfait, se souvient-il. Quand j’ai regardé dans ses yeux, elle a regardé dans les miens. Cela ne m’était jamais arrivé avec d’autres animaux, même des singes !” Le “couple” ne se séparera plus.

## SAVOIR “COMMENT LES CHIMPANZÉS PENSENT”

A l’époque, on ne sait pas grand-chose sur les grands singes. L’hypothèse mécaniste formulée par le philosophe René Descartes au XVII<sup>e</sup> siècle, selon laquelle les animaux sont dépourvus d’âme, de pensée et de langage, a laissé des traces dans les esprits.

Dans les années 1970, Jane Goodall étudie les chimpanzés de Tanzanie, Dian Fossey les gorilles du Rwanda. En montrant que les grands singes utilisent des outils et entretiennent des relations sociales complexes, les deux éthologues font vaciller ces idées reçues.

Tetsuro Matsuzawa échappe à cette pensée dualiste. La culture bouddhiste accorde une âme à tout être vivant et ne fixe aucune barrière philosophique infranchissable entre les humains et les autres primates. Le scientifique japonais veut d’emblée comprendre “comment les chimpanzés voient, comment ils pensent”. Pour cela, il met au point une série d’exercices autour de l’apprentissage des couleurs, des chiffres et des symboles.

Et à l’aube des années 2000, il révèle dans la revue *Nature* qu’Aï mémorise des suites “aussi bien que l’homme”.

Au même moment, des généticiens découvrent que 99 % des 3 milliards de paires de bases (les “lettres” de l’ADN) qui forment notre génome sont identiques à celles du chimpanzé.

Le primatologue étudie également les chimpanzés en liberté dans leur milieu naturel. Dans les forêts de Bossou, en Guinée, il remarque un mode unique d’apprentissage social. Lorsqu’un petit veut casser des noix avec des pierres, sa mère ne lui donne pas d’instructions. Elle ne le corrige pas, ne l’encourage pas. Le jeune se montre néanmoins très motivé pour imiter le comportement de sa mère, auprès de laquelle il vit pendant plusieurs années.

Tetsuro Matsuzawa réalise ainsi que les tests cognitifs sont souvent biaisés : alors que les enfants y participent assis sur les genoux de leur mère,

progressivement mis à faire des exercices. Surprise : ils se sont très vite révélés meilleurs que leur génitrice. Mieux, ils surpassent l’humain !

Entre l’homme et le chimpanzé, plus les chiffres apparaissent brièvement sur l’écran, plus l’écart se creuse. C’est ce que montre une étude publiée en 2007. Quand la suite de 1 à 9 ne restait visible à l’écran que 210 millisecondes, soit pratiquement le temps d’un battement de paupière, Ayumu réussissait 80 % des tests, contre moins de 40 % pour l’homme.

La différence d’entraînement – plusieurs années pour le chimpanzé contre six mois pour ses adversaires – ne permettrait pas d’expliquer la différence. “La pratique ne change rien, insiste Tetsuro Matsuzawa. En tout cas, elle n’améliore pas les résultats : les performances des chimpanzés sont bonnes dès le départ, puis se détériorent progressivement ; et j’ai un étudiant qui s’entraîne depuis plusieurs mois, mais sans observer d’amélioration pour autant !”

## UNE CAPACITÉ PERDUE

Les jeunes enfants tendent à être dotés de cette mémoire photographique, qui disparaît au profit de l’organisation de la pensée. “Le volume de notre cerveau est limité. Pour ajouter quelque chose, il faut enlever autre chose, souligne le chercheur. Nous avons sans doute perdu cette mémoire photographique exceptionnelle, mais nous avons gagné le langage, qui permet de collaborer les uns avec les autres, de partager les bénéfices. La pression évolutive a marqué notre cerveau.”

Cette marque singulière de l’évolution sur nos cerveaux, le primatologue cherche à la

## Habitué très jeune à observer sa mère, le petit se révèle vite meilleur

les jeunes chimpanzés, en plus d’être dans un environnement qui leur est étranger, sont séparés de la leur. Il a alors l’idée de faire travailler trois femelles chimpanzés en compagnie de leur progéniture, née en 2000.

Aï viendra désormais devant l’écran avec son fils Ayumu dans les bras.

L’enjeu est de taille : entre la naissance et l’âge adulte, la taille du cerveau est multipliée “par 3,26 chez l’homme, 3,20 chez le chimpanzé”, précise Tetsuro Matsuzawa. La période postnatale est donc une phase clé de l’apprentissage par l’expérience et de la formation des capacités cognitives.

Pendant quatre ans, à Inuyama, les trois “bébés du millénaire” se sont contentés d’observer leur mère. Puis ils ont tapoté l’écran et se sont



△ Pour Tetsuro Matsuzawa, la proximité avec l'animal est essentielle : après les exercices, il entre dans la cage d'Aï et lui "parle" en poussant d'impressionnants cris de singe.

→ mettre en évidence dans tous les domaines de la cognition. Ainsi, Ayumu et ses congénères ne sont pas seulement invités à compter : on leur enseigne également la musique, les couleurs, certains symboles, etc.

Ces travaux ont permis au chercheur de formuler "l'hypothèse du cerveau social", une théorie détaillant nos capacités respectives et les transformations progressives de notre

Une caméra a suivi leur regard durant l'action : les chimpanzés observent la bouteille et le verre mais manifestent peu d'intérêt pour la femme, tandis que le regard des nourrissons se déplace plusieurs fois entre le visage de la femme, la bouteille et le verre.

La conclusion serait-elle la même si la femme sur l'écran était une femelle chimpanzé ? "Nous n'avons pas tenté l'expérience avec un grand singe

le "skylab". Ayumu, qui boudait les salles isolées le matin même, accepte d'ailleurs de s'y exercer, tandis qu'Akira continue de tempêter à ses côtés.

## PRÉPARER LA RELÈVE

Toutefois, les performances d'Ayumu déclinent. "Les jeunes sont meilleurs vers l'âge de 7 ou 8 ans, puis ils perdent leurs capacités intellectuelles", souligne le scientifique. Ayumu vient d'avoir 14 ans, ce qui correspond à une vingtaine d'années chez l'homme. "L'équipe se concentre désormais sur la relève et tente d'amener le singe à se reproduire.

A 63 ans, Tetsuro Matsuzawa prépare aussi sa propre relève en formant les générations futures. "En Occident, un projet associe souvent un scientifique et un animal, sans aller plus loin. Ici, nous sommes une famille, comme au kabuki [théâtre traditionnel japonais] : les acteurs se succèdent les uns aux autres, en portant le même nom. Masaki Tomonaga sera mon successeur et le projet Aï continuera", certifie-t-il.

Il annonce déjà la prochaine étape : entraîner trois générations de chimpanzés en même temps – Aï, Ayumu et son futur petit. Quelle influence la grand-mère aura-t-elle sur l'apprentissage du plus jeune ? Ce dernier sera-t-il encore meilleur qu'Ayumu, apportant la preuve d'une accumulation culturelle au fil des générations chez les grands singes ?

Patiemment, Tetsuro Matsuzawa tente de reconstruire en laboratoire l'univers dans lequel s'épanouissent naturellement les fonctions cognitives du chimpanzé. Qui sait quelle prouesse il parviendra ainsi à surprendre encore.

## Leur mémoire à long terme aussi est impressionnante

**Les grands singes aussi ont leur "madeleine de Proust". Autrement dit, des souvenirs qui resurgissent soudain, dans certaines circonstances. C'est ce qu'ont démontré trois chercheurs de l'université d'Aarhus (Danemark) et de l'Institut Max-Planck à Leipzig (Allemagne). Tout a commencé en 2009, dans le zoo de Leipzig. Huit chimpanzés et trois orangs-outans devaient, pour attraper un morceau de banane hors de leur portée, se servir d'une longue baguette. En 2012, confrontés au même exercice, dix des onze animaux se sont précipités vers la boîte où était cachée la baguette : ils se souvenaient de l'exercice effectué trois ans plus tôt ! Ce type de mémoire à long terme était jusqu'ici jugé propre aux êtres humains.**

cerveau. "Les chimpanzés excellent à capturer rapidement des images dans leur ensemble. Ils semblent se concentrer sur les objets saillants, en négligeant le contexte social, détaille-t-il. A l'inverse, les humains vont plutôt chercher à comprendre le sens de ce qu'ils voient ; ils reconnaissent toujours les choses dans leur contexte social."

L'une des études du Kupri illustre parfaitement cette hypothèse. De jeunes enfants et de jeunes chimpanzés ont été placés devant un film qui montrait une femme versant l'eau d'une bouteille dans un verre.

tenant une bouteille, ce qui ne serait pas simple !, s'amuse Tetsuro Matsuzawa. Mais d'après ma longue expérience, je peux vous dire qu'il est très difficile de garder un contact oculaire avec un chimpanzé."

Pour valider sa théorie et mieux sonder "notre esprit structuré par notre environnement social", le primatologue s'efforce de privilégier le bien-être et le bon vouloir de ses protégés. Actuellement, dans le laboratoire, une nouvelle salle permet aux chimpanzés de travailler tout en restant avec les leurs, au plus près de leur espace de vie habituel : c'est

A consulter : le site (en anglais) du projet Aï, avec quantité de vidéos et les références des publications.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com

# & Science techniques



CHROMOSOME 86



POLLINISATEURS

CENTRALES NUCLÉAIRES 92

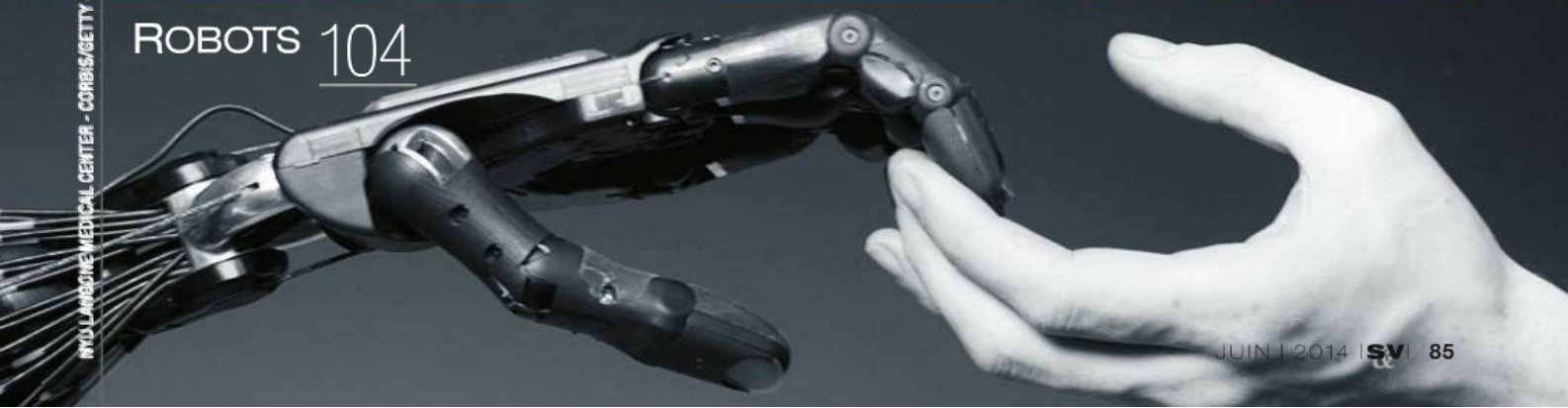


CENTRALES NUCLÉAIRES 92

LEUCÉMIE

POLLINISATEURS 96

ROBOTS 104





^ Avec son équipe, Jef Boeke a entièrement réécrit le chromosome 3 de la levure *Saccharomyces cerevisiae*, avant de le réintroduire avec succès dans le génome.

### Chronologie

**2002** Première synthèse d'un génome viral (7 500 paires de bases)

**2005** Première réécriture d'un génome viral (39 937 paires de bases)

**2010** Première synthèse d'un génome bactérien (1 chromosome, 1 million de paires de bases)



# Ils ont créé le premier chromosome artificiel

Reprendre les centaines de milliers de lettres qui forment l'ADN d'un chromosome pour tout réassembler... en mieux! Tel est l'exploit accompli par une équipe de biologistes et de généticiens sur une levure. La première étape d'un projet démesuré, qui vise à synthétiser un génome tout entier.

Par **Emilie Rauscher**

COURTESY OF NYU LANGONE MEDICAL CENTER

**C'**était un défi de science-fiction. Le genre de projet hors norme qui, d'emblée, marque les esprits autant que l'histoire de sa discipline – en l'occurrence, la biologie synthétique, dont l'objectif est de recréer et modifier le vivant selon nos besoins.

Pour la première fois, une cellule eucaryote (possédant un noyau, comme les nôtres) a été dotée d'un chromosome entièrement artificiel. Artificiel car réécrit de A à Z, lettre après lettre; artificiel encore, car son texte génétique même a été réécrit, corrigé drastiquement (voir l'infographie ci-contre).

### TOUT REPRENDRE DE ZÉRO

L'heureuse bénéficiaire de cette réussite est la levure *Saccharomyces cerevisiae*, plus connue sous le nom de levure de boulanger – elle lève le pain et, accessoirement, fermente aussi la bière –, un assistant modèle en laboratoire.

Quatre-vingts spécialistes, généticiens, informaticiens ou biologistes moléculaires, ainsi que des cohortes d'étudiants, ont cru en ce pari fou et eu assez de ténacité pour le gagner.

Une prouesse que ses instigateurs comparent, en termes d'impact futur, au séquençage du génome humain. Et que la revue *Science* qualifie d'"*Everest de la biologie synthétique*"!

Pourtant, au début des années 2000, quand Ronald Davis, généticien à l'université Stanford (États-Unis) reconnu pour son esprit visionnaire, déclare qu'un jour une telle performance sera possible, les chercheurs ne se bousculent pas pour réaliser sa prédiction.

Trop complexe, trop cher, trop long... L'idée même tient alors de l'utopie technique.

Jusqu'à ce qu'en 2006, Jef Boeke et Srinivasan Chandrasegaran, de l'université américaine Johns-Hopkins, se lancent dans l'aventure, presque par hasard. Alors qu'ils discutent autour d'un café de la possibilité de transformer un petit gène et de la difficulté de contrôler un génome par les moyens classiques de la biologie moléculaire, ils imaginent une solution pour le moins ambitieuse: tout refaire, en partant de zéro.

Les deux chercheurs avaient tout à inventer: les seuls travaux comparables concernaient un virus, un organisme beaucoup plus simple, au génome réduit. Aucune bactérie – déjà plus complexe, quoique dépourvue de noyau – n'avait encore vu son ADN ainsi retouché. En s'attaquant directement à la levure, avec ses 16 paires de chromosomes cumulant 12 millions de paires de bases (les "lettres" de l'ADN: A, T, C et G), ils brûlent donc toutes les étapes.

Pour ce faire, ils planifient dès le début un travail de titan, qui repousse les limites de la biologie synthétique. Ce grand projet est découpé en plusieurs phases (voir l'infographie pp. 90-91).

## L'exploit est comparable au séquençage du génome humain

La première est purement virtuelle: il s'agit de modifier sur ordinateur, grâce à des logiciels spécialisés, la séquence de chaque chromosome, soit l'ordre dans lequel ses bases se suivent sur l'ADN.

## Un chromosome recomposé sur mesure

Afin d'obtenir un chromosome stable, plus court et pouvant être muté à volonté, les biologistes réécrivent lettre à lettre le texte génétique qu'il porte: des séquences d'ADN sont ôtées, d'autres sont ajoutées, et certaines sont modifiées... pour donner SynIII, le premier chromosome artificiel.



Chromosome 3 de la levure *Saccharomyces cerevisiae*

### Naturel

Taille: 316 617 bases  
Nombre de gènes: 183

### Artificiel

Taille: 272 871 bases  
Nombre de gènes: 173  
Nombre de bases modifiées: près de 50 000 (un sixième)

Cette première phase *in silico* peut sembler anodine: remplacer une lettre par une autre, n'importe quel traitement de texte en est capable. Sauf que le but ici est de "rationaliser" la séquence génétique de la levure, de l'optimiser, puisque les génomes sont naturellement "encombrés" et chaotiques.

Pour chacun des 16 chromosomes de *Saccharomyces*, Jef Boeke et Srinivasan Chandrasegaran ont donc évalué ce qui pouvait être ôté et modifié sans tuer la cellule. Afin non seulement d'en réduire la taille, mais aussi de maîtriser au maximum l'instabilité chronique de l'ADN. Ils ont ainsi "effacé" les

### De courtes séquences d'ADN sont ajoutées...

98 séquences dites LoxP sont accolées à des gènes non vitaux : elles permettront aux chercheurs de provoquer des mutations.

### ... des vestiges de virus éliminés...

Les transposons, vestiges d'anciens virus encore capables de se déplacer dans l'ADN, sont supprimés pour éviter toute perturbation.

### ... des morceaux de gènes effacés...

Les introns (séquences qui ne se retrouvent pas dans la protéine finale codée par le gène) sont ôtées.

### ... et des portions reconfigurées

Certains codons-stop (qui signalent la fin d'un gène sur l'ADN) voient leur sens changé : ils pourront coder pour autre chose, comme un futur acide aminé artificiel.

### Les télomères sont remplacés...

Situés à l'extrémité de chaque chromosome, les télomères lui permettent de se diviser sans perdre d'information. Naturellement instables, ils sont substitués par des homologues artificiels.

### ... des "repères" insérés...

De courtes séquences sont disséminées dans tout le chromosome pour faciliter la distinction entre les fragments naturels et leurs contreparties synthétiques.

### ... des répétitions supprimées...

Parce qu'elles font patiner la machinerie génétique et induisent des mutations aléatoires, les longues séquences répétées sont évacuées.

### ... l'instabilité sexuelle maîtrisée...

La levure change de "type sexuel" après chaque reproduction sexuée grâce à certaines séquences, qui sont ôtées pour empêcher cette instabilité.

### ... et des gènes de la traduction protéique déplacés

Les 10 gènes d'ARNt, indispensables à la bonne traduction des gènes en protéines, sont transférés sur un autre chromosome.

portions d'ADN susceptibles d'amener un imprévu et de déstabiliser leur bel ouvrage : les répétitions qui embrouillent la machinerie génétique (les télomères protégeant les extrémités des chromosomes, la "matière noire" située entre les gènes...); les vestiges d'anciens virus intégrés, qui peuvent encore parfois se déplacer d'un endroit à l'autre du génome (les transposons, ou "gènes sauteurs"); certains gènes comme ceux des ARNt, qui interviennent dans la synthèse des protéines, etc.

Ils se sont aussi permis quelques ajouts, pour préparer "l'après" – à savoir, les nombreuses recherches

fondamentales et applications industrielles que permettra leur levure artificialisée. De courtes séquences (dites LoxP) ont ainsi été accolées à chaque gène non vital, ce qui leur permettra, plus tard, de provoquer à volonté des mutations et une évolution (via des déplacements et des pertes de gènes) à un rythme inédit, à l'aide d'une technique récente appelée Scramble.

### TROIS ANS DE SYNTHÈSE

La deuxième étape se confronte à l'épreuve de la réalité : il s'agit d'"imprimer" le texte corrigé, de transformer ces kilo-octets numériques en kilobases

(milliers de bases) nucléiques, afin d'obtenir des molécules d'ADN bel et bien matérielles. Pas de cartouche d'encre ni d'imprimante laser ici, mais quatre réservoirs contenant chacun l'une des bases de l'ADN, ainsi qu'un synthétiseur pour accoler les bases les unes aux autres dans l'ordre défini par le nouveau texte génétique – et, au final, produire une molécule réelle.

Un essai de réalisation d'une courte portion du chromosome 9 a été confié à une entreprise spécialisée en biologie de synthèse, mais ce procédé a été abandonné quand il a fallu passer à la vitesse supérieure

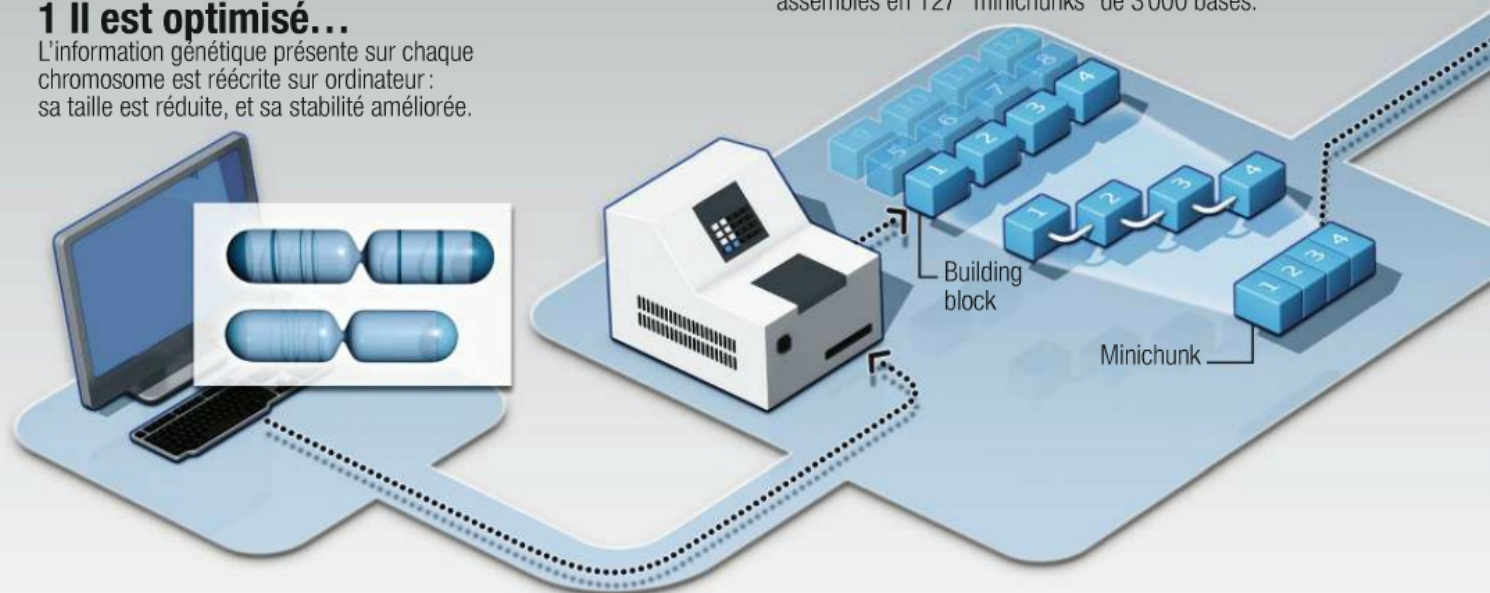
## Les 4 étapes de la fabrication du chromosome artificiel

### 1 Il est optimisé...

L'information génétique présente sur chaque chromosome est réécrite sur ordinateur : sa taille est réduite, et sa stabilité améliorée.

### 2 ... synthétisé...

Ce chromosome "numérique" est synthétisé en laboratoire : 367 segments d'ADN de 750 bases ("building blocks") sont fabriqués, avant d'être assemblés en 127 "minichunks" de 3 000 bases.



→ pour le chromosome 3, premier destiné à être entièrement artificialisé.

Cette étape est aussi cruciale que laborieuse. "C'est même la plus longue", se rappelle Héloïse Muller, généticienne à l'Institut Pasteur. Participante de la première heure au projet, elle a mis en place bon nombre des techniques qui allaient assurer sa réussite.

Organisée en interne, lors de cours et de travaux pratiques universitaires, cette vaste entreprise de synthèse a fait appel à l'enthousiasme de centaines d'étudiants ! "Nous avons commencé par leur faire fabriquer 367 petits fragments différents de 750 bases – les 'building blocks' – contenant toute l'information du chromosome 3, indique la chercheuse. Puis, avec le généticien Narayana Annaluru, nous les avons assemblés en 127 segments plus longs de 2 à 4 kilobases – les

'minichunks'. Il nous a fallu trois ans pour réaliser le premier tiers du chromosome 3... puis seulement quatre mois pour le finir, une fois les techniques bien posées."

Troisième étape, ces minichunks sont transférés et réunis dans une levure en un chromosome inédit... Serviable, la levure les intègre elle-même dans son génome par douzaine, grâce à un mécanisme naturel de "recombinaison homologue", qui lui fait échanger deux morceaux d'ADN similaires – en l'occurrence, son chromosome d'origine et sa contrepartie artificielle.

### UN MUTANT BIEN INTÉGRÉ

Au final, le chromosome 3, long de 316 617 bases à son état naturel, se trouve réduit à 272 871 bases ; il a donc perdu près de 14 % de sa taille, tandis qu'un sixième de ses bases (soit une bonne cinquantaine

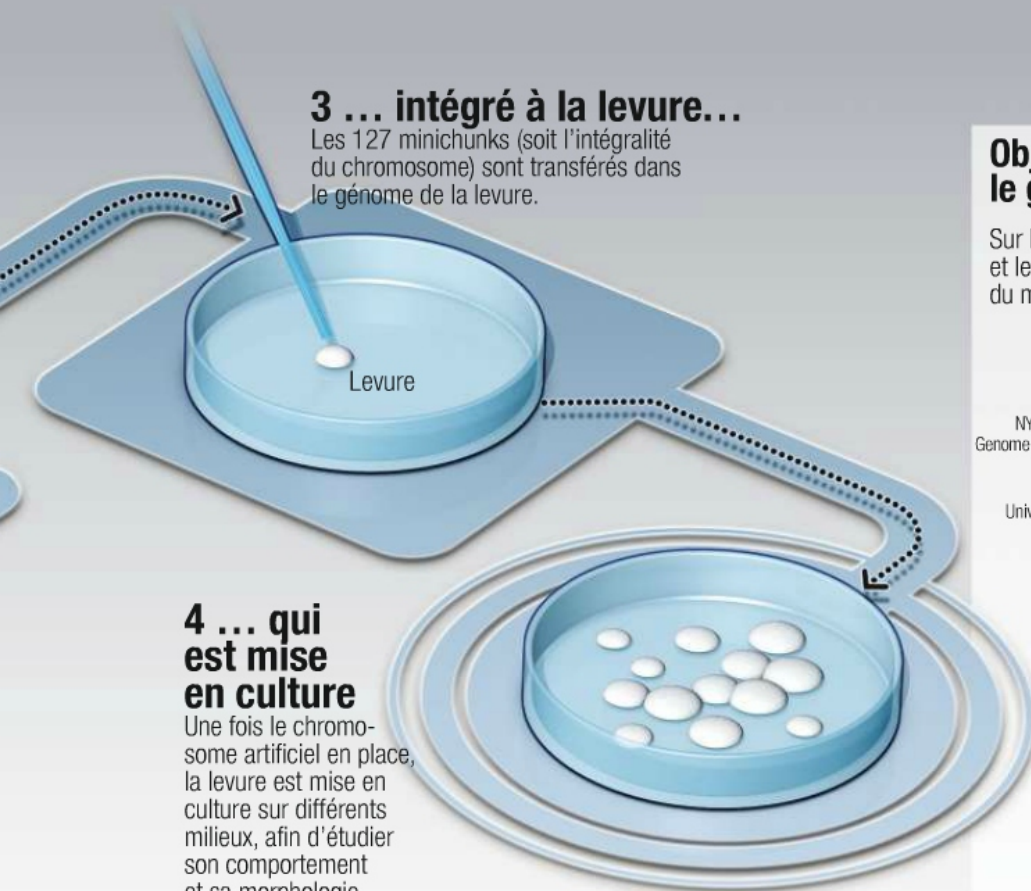
de milliers) ont été modifiées... La levure dotée d'un tel "mutant" va-t-elle survivre ?

Une batterie de tests, sous la forme de mise en culture sur une vingtaine de milieux différents, est lancée. Et le résultat dépasse toutes les attentes des spécialistes à son chevet : non seulement la *Saccharomyces* "Sc. 2.0" survit, mais elle s'avère en plus étonnamment proche de son alter ego naturel.

"Nous avons analysé sa morphologie, celle de ses colonies, leur taille, leur croissance sur ces différents milieux de culture... Il n'y a pas de gros défaut, constate Héloïse Muller. Juste une très légère anomalie dans sa façon de bourgeonner en se divisant. Mais le fait qu'il existe de petites anomalies propres à chaque chromosome artificiel inquiète, bien entendu : que se passera-t-il quand ils seront tous réunis dans une même cellule ?"

### 3 ... intégré à la levure...

Les 127 minichunks (soit l'intégralité du chromosome) sont transférés dans le génome de la levure.

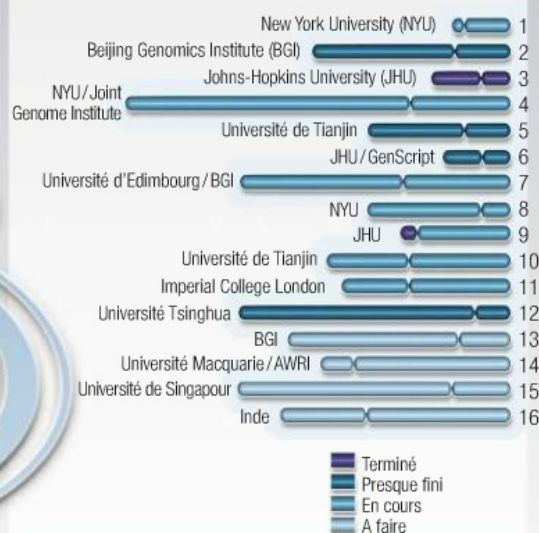


### 4 ... qui est mise en culture

Une fois le chromosome artificiel en place, la levure est mise en culture sur différents milieux, afin d'étudier son comportement et sa morphologie.

### Objectif : réécrire tout le génome de la levure

Sur les 16 chromosomes de la levure, seuls le 3 et le bras court du 9 sont achevés. Des équipes du monde entier travaillent sur le reste du génome.



De fait, si cette première phase s'est remarquablement bien passée... il en reste 15 jusqu'au génome entièrement artificialisé! Une par chromosome encore à réaliser – à

finaliser plutôt, car Jef Boeke et Srinivasan Chandrasegaran ont déjà revu et corrigé plus de la moitié du génome total.

Partout à travers le monde, des laboratoires chinois, américains

ou britanniques sont en train de synthétiser ces autres chromosomes que la nature n'a jamais vus (voir ci-dessus)...

Chacun sera capable d'apporter à la levure des propriétés nouvelles, d'amplifier certaines de ses capacités à la demande ou encore de réécrire notre compréhension du fonctionnement des génomes.

Outil déjà polyvalent, *Saccharomyces* devient un rêve de scientifique, d'ingénieur et d'industriel (lire l'encadré ci-contre). Elle entame une mue dont personne ne sait encore jusqu'où elle ira... Ni quels organismes elle touchera dans le futur.

Aujourd'hui, des génomes tels que le nôtre sont hors de portée: trop long, trop complexe, trop de niveaux d'organisation inconnus, etc. Mais hier encore, celui de la levure était lui aussi un pur fantasme... finalement réalisé.

A consulter : le site du projet, régulièrement mis à jour et détaillant le travail effectué, etc.

A lire : les publications des chercheurs.

science-et-vie.com

## De nombreuses applications pour la recherche et l'industrie

Les scientifiques peuvent faire muter, recombinaison et évoluer comme jamais ce premier chromosome artificiel, prélude à un génome entièrement synthétique.

Les possibilités qui en découlent sont légion :

- rechercher le génome minimal, le plus petit qui permette la survie de la cellule;
- comprendre la structure 3D de la molécule d'ADN, ses repliements et sa configuration dans l'espace;
- évaluer l'impact des mutations sur l'évolution;
- étudier le rôle des séquences encore mal connues : introns, transposons, répétitions, etc.;
- créer de nouvelles voies métaboliques (réactions chimiques au sein des cellules);
- synthétiser des protéines inédites pour des applications médicales, alimentaires, industrielles, etc.;
- améliorer la production de biocarburant, etc.

Centrales nucléaires en France

# Et si elles nous fournissaient l'eau chaude ?

Utiliser la chaleur des réacteurs pour le chauffage urbain : l'idée de cogénération avance, mais se heurte encore à des résistances. Plus stratégiques que techniques...

Par **Vincent Nouyrigat**

**N**ous ne ferons pas de commentaire", assène une porte-parole d'EDF. La réponse est cinglante. Mais elle était prévisible : en règle générale, l'électricien tricolore rechigne à évoquer en public les défauts de ses sacro-saintes centrales nucléaires. Même si la question ayant valu ce "no comment" ne concerne en rien leur sécurité, seulement leurs propriétés thermodynamiques. A savoir : pourrait-on exploiter la cha-

leur générée par les centrales pour alimenter les réseaux de chauffage urbain ? L'idée semble pourtant pertinente.

Car, aussi intimidants soient-ils, nos 58 réacteurs nucléaires ne sont rien d'autre que de bonnes vieilles machines thermiques, pour ne pas dire de grosses bouilloires – hyperradioactives, certes. Ces chaudières à fission portent leur eau à environ 330 °C, puis alimentent une turbine à vapeur dans le but de fournir de l'électricité et... rien que de l'électricité. Pour un bilan final qui, secret de polichinelle, est loin d'être glorieux : "Seul un tiers de l'énergie dégagée par la fission est converti en électricité, tandis que tout le reste est perdu ; il se dissipe sous forme de chaleur à 40 °C, sans grand intérêt, expulsée dans les fleuves ou dans l'air", relève Henri Safa,

du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

Une triste fatalité du tout-nucléaire français ? Pas forcément... "Car en exploitant une partie de l'énergie générée par la fission sous forme d'énergie thermique (à 120 °C), notre immense parc nucléaire pourrait satisfaire au moins la moitié des besoins nationaux en chaleur (chauffage, eau chaude)", a établi récemment Henri Safa.

Et ce n'est pas un détail : la chaleur représente 80 % de l'énergie consommée par les logements, les commerces et les administrations. Un tel argument pourrait peser lourd, à l'heure où le gouvernement s'apprête à présenter sa loi sur

## Contexte

Le gouvernement prévoit de faire voter, ce mois de juin, une loi sur la transition énergétique. Les objectifs annoncés sont ambitieux : 23 % d'énergie renouvelable en 2020, ramener la part du nucléaire dans l'électricité à 50 % à l'horizon 2025, abaisser de 30 % la consommation d'énergies fossiles vers 2030, réduire d'un facteur quatre les émissions de CO<sub>2</sub> d'ici à 2050.





la transition énergétique... Depuis quatre ans, ce physicien nucléaire, assisté par une petite équipe du CEA, planche sur cette option : transformer les réacteurs nucléaires français en unités de cogénération, délivrant à la fois électricité et chaleur *via* de gros tuyaux transportant de l'eau brûlante.

### UN PREMIER PROJET AVORTÉ

Il y a peu, cette proposition aurait été jugée extravagante. Aujourd'hui, elle est enfin envisagée. Dans un rapport universitaire remis au gouvernement en début d'année, la chaleur issue de l'atome occupe même une place centrale dans certains scénarios énergétiques à l'horizon 2050. Comme le fait

remarquer Ibrahim Khamis, de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA), *"74 réacteurs fonctionnent actuellement en cogénération en Suisse, en Inde, en Russie, en Bulgarie, en Hongrie..."* Cela aurait pu être le cas en France : en 1977, les chercheurs du CEA projetaient d'installer sous la ville de Grenoble le réacteur Thermos, chargé d'approvisionner ses habitants en chaleur.

Seulement voilà, dès la fin des années 1970, EDF avait tranché. *"Tous les efforts étaient alors tournés vers la production d'un maximum d'électricité nucléaire, afin de remplacer les centrales au fioul"*, évoque Pierre Bacher, à l'époque directeur technique d'EDF. Les cir-

cuits situés entre le cœur nucléaire et la turbine ont donc été conçus dans cet unique objectif.

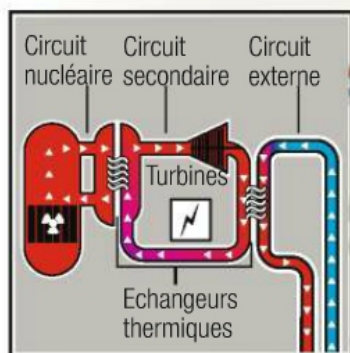
Or, ce choix historique du tout électrique est de plus en plus contesté. D'autant qu'en France, l'abondance d'électricité nucléaire a longtemps justifié l'installation de radiateurs électriques dans tout logement neuf... *"Une véritable aberration thermodynamique au sens où l'on dégrade une énergie de grande qualité, l'électricité, en chaleur de faible qualité"*, déplore Diogo Queiros-Conde, thermodynamicien (université Paris-X). Pis : nos convecteurs électriques sollicitent en période de pointe des centrales à gaz et à charbon, aux lourdes émissions de CO<sub>2</sub>. Sans parler

### UNE SOURCE INEXPLOITÉE

Les centrales nucléaires sont des gisements de chaleur. Mais, en France, ce potentiel est totalement inexploité.



## 3 interventions suffisent pour exploiter la chaleur nucléaire



### 1 Adapter les circuits de la centrale

Les ingénieurs peuvent modifier le circuit secondaire (partie non nucléaire), à l'origine dédié à la seule production d'électricité. Il faut réduire la différence de pression pour récupérer une vapeur plus chaude (120 °C).

### 2 Tirer des canalisations d'eau chaude

Ces conduites d'un mètre de diamètre, recouvertes d'un isolant thermique de polyuréthane, sont enterrées sur des dizaines de kilomètres. Elles font circuler de l'eau chaude (120 °C) sous une pression de 20 bars – une station de pompe doit être installée tous les 20 km.

→ du coût de ces combustibles fossiles achetés à l'étranger.

Pour toutes ces raisons, la chaleur nucléaire commence à faire parler d'elle. "A partir du moment où l'on décide de garder une part de nucléaire dans notre futur mix énergétique – même réduite à 50 % au lieu

de 75 % –, il serait dommage de se passer de tels gisements de chaleur à portée de main", estime Patrick Criqui, économiste de l'énergie à l'université de Grenoble. Songez que la France est le pays le plus nucléarisé du monde, avec 19 sites plutôt bien répartis sur le territoire – à l'exception notable de la Bretagne.

#### PAS D'OBSTACLE TECHNIQUE

Mieux, s'enthousiasme Henri Safa, "les progrès de ces vingt dernières années dans les matériaux isolants des conduites de chaleur devraient permettre de franchir les quelque 100 km qui séparent Paris des deux réacteurs de Nogent-sur-Seine, avec de faibles déperditions".

Preuve de ces nouvelles possibilités, l'opérateur finlandais Fortum entend chauffer Helsinki à partir d'un réacteur distant de 80 km. Une fois cette ligne construite, il suffit de se

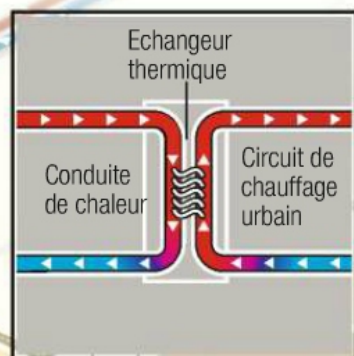
connecter au réseau de chaleur de l'agglomération (voir l'infographie ci-dessus). Imaginez Paris alimenté par la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine, Bordeaux par celle du Blayais, Lille par celle de Gravelines, Lyon par Saint-Alban, etc.

Sauf que, EDF refuse toujours d'en entendre parler. Ses réacteurs à eau sous pression seraient-ils inaptes à la cogénération ? "Les réacteurs d'EDF ont en effet été optimisés pour la seule production d'électricité... Pourtant cela n'a rien de rédhibitoire et ne fait appel à aucune technologie critique, défend Henri Safa. L'intervention consiste, dans la partie non nucléaire, à réduire la baisse de pression au niveau du condenseur pour récupérer de la vapeur à 120 °C et la détourner vers le réseau de chaleur. Evidemment, la quantité d'électricité produite en pâtit. Il faut l'accepter." Selon Harri Tuo-

M. KONTENTE

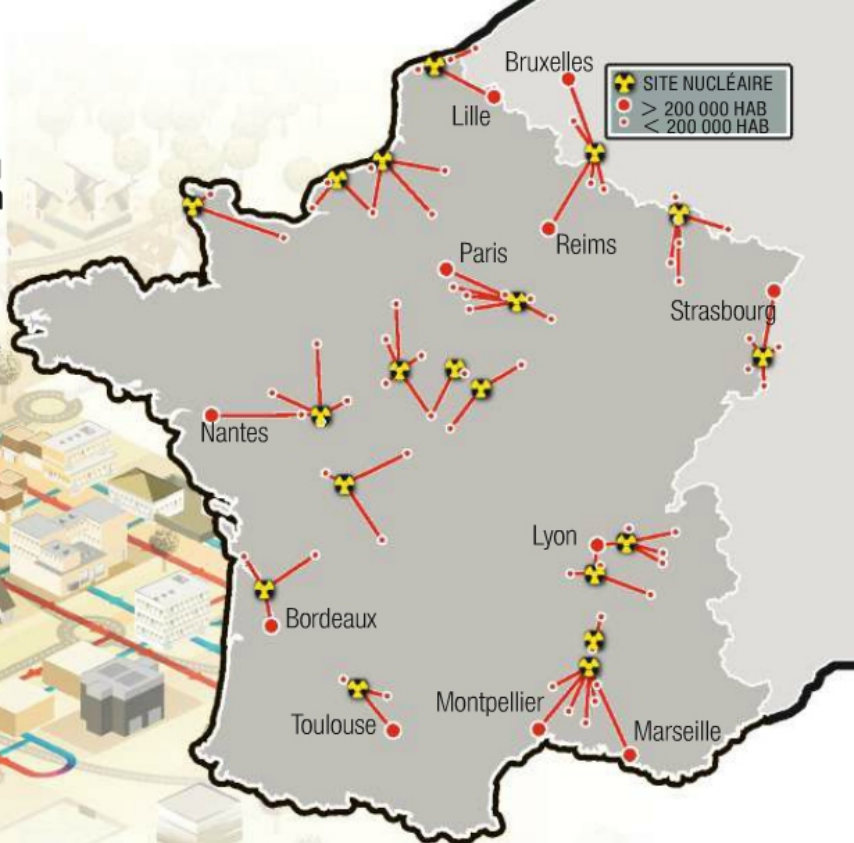
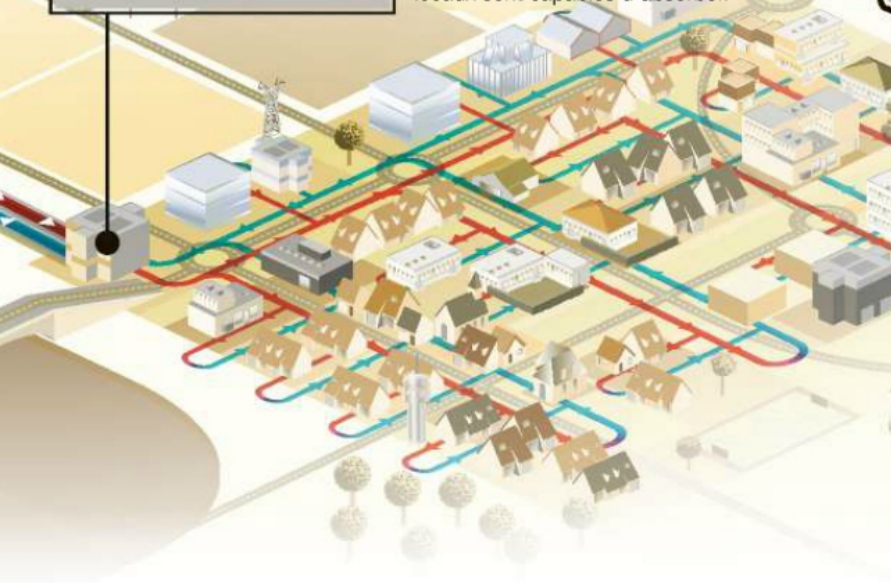
## La récupération de chaleur se généralise

La France compte plus de 450 réseaux de récupération de chaleur, à l'image du tentaculaire système parisien – créé en 1927 pour fournir en vapeur les locomotives de la gare de Lyon. Ces dispositifs de chauffage urbain récupèrent l'essentiel de leur chaleur des résidus de centrales à gaz, charbon ou fioul. Ils transportent 6 % des besoins nationaux (contre 60 % au Danemark, 50 % en Suède et en Pologne), mais les kilomètres installés croissent de près de 10 % par an. Après avoir été électrifié au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'Hexagone pourrait se couvrir au XXI<sup>e</sup> siècle de conduites d'eau bouillante.



### 3 Alimenter le réseau de chauffage urbain

Ces longues conduites de chaleur peuvent être connectées aux réseaux urbains de chauffage grâce à des échangeurs thermiques. Reste à savoir quelle quantité d'énergie ces systèmes locaux sont capables d'absorber.



**Plus de 70 villes pourraient être alimentées par l'eau chaude des centrales**

misto, ingénieur de l'opérateur finlandais Fortum, *"l'extraction de 1 000 MW de chaleur abaisse la production électrique d'environ 170 MW"*. Production qu'il faudrait pouvoir éventuellement compenser. La décision n'est donc pas anodine.

Sur le plan purement thermodynamique, ce choix ne se discute pas : le rendement passe à 60 %, et le combustible uranium n'en est que mieux utilisé.

**HENRI SAFA**

Physicien nucléaire au Commissariat à l'énergie atomique, à Saclay

*Seul un tiers de l'énergie dégagée par la fission est converti en électricité. Tout le reste est perdu*

Rien à dire non plus concernant l'environnement : d'après Henri Safa, le seul approvisionnement de Paris en chaleur devrait éviter l'émission de 1,7 million de tonnes de CO<sub>2</sub> chaque année.

En revanche, des interrogations demeurent sur l'économie de ce mode alternatif de production (coût du réseau de transport de chaleur, prix du MWh de chaleur, etc.). *"La prudence d'EDF, société cotée en bourse, est donc parfaitement compréhensible"*, admet Jean-Guy Devezeaux de Lavergne, économiste de l'énergie au CEA. Délivrée à 100 ou 120 °C, l'énergie thermique extraite des réacteurs conviendrait aux besoins des ménages, des administrations, des hôpitaux et de quelques activités agroalimentaires. Mais d'autres applications industrielles restent à définir.

De plus, souligne Ibrahim Khamis, *"l'adaptation à la*

*cogénération de réacteurs existants exige de déposer une nouvelle demande d'exploitation du réacteur auprès des autorités de sûreté nucléaire.*

*Une procédure lourde, longue et coûteuse"*. Sachant que les réacteurs français vieillissent et que les exigences de sûreté se multiplient depuis Fukushima.

Au-delà de ces considérations matérielles, *"il faudra tenir compte de l'acceptation du public"*, reconnaît Jean-Guy Devezeaux de Lavergne. Bien sûr, l'eau qui circule dans les réseaux de chaleur n'a aucun contact avec celle qui entoure les combustibles nucléaires, les seuls échanges étant thermiques... Sauf qu'il est tentant d'imaginer des scénarios catastrophe de contamination à grande échelle.

Bref, les obstacles sont nombreux. Mais qui a dit que la transition énergétique serait une formalité ?

A lire : des documents illustrant les différents usages non électriques du nucléaire.

**EN SAVOIR PLUS**

science-et-vie.com



✓ *Apis mellifera* a d'abord été domestiquée pour sa capacité à produire du miel, avant que les agriculteurs l'utilisent pour polliniser leurs cultures.

Face à l'hécatombe dans les ruches

# Qui remplacera les abeilles domestiques ?

Pour parer à la menace que fait aujourd'hui peser sur l'agriculture la disparition des abeilles, des chercheurs tentent de domestiquer de nouveaux pollinisateurs... Enquête.

Par **Véronique Etienne**

**P**énurie d'abeilles domestiques en vue ! Le nombre de leurs colonies, ces maillons indispensables qui contribuent à la production de 75 % des plantes cultivées dans le monde, n'augmente plus assez pour faire face à des besoins croissants.

Entre 1961 et 2007, la surface des cultures entomophiles (pollinisées par les insectes) a en effet bondi de 300 % dans le monde, alors que les colonies n'ont augmenté que de 45 %.

Plus grave, dans certaines régions du globe, l'abeille domestique (*Apis mellifera*) périclité, victime à la fois des pesticides et des maladies. En France, les apiculteurs professionnels perdent de 20 à 30 % de leurs colonies chaque hiver depuis 2007. Dès lors, com-

ment remplacer le travail de ces abeilles domestiques disparues ? Et qui pollinisera demain les champs et les vergers toujours plus nombreux ?

Face au constat glaçant des ruches décimées, certains chercheurs et agriculteurs focalisent aujourd'hui leur attention sur des pollinisateurs alternatifs.

En effet, il existe dans la nature une multitude d'autres insectes qui volent d'une fleur à l'autre pour récolter du nectar, déposant involontairement des grains de pollen sur les pistils (organes femelles des fleurs). Ce qui favorise la transformation des fleurs en fruits et en graines.

Des papillons, quelques coléoptères, certaines guêpes ou mouches... mais surtout des milliers d'espèces d'abeilles sauvages (il en existe 2000 en Europe), comme les osmies. Ces

espèces sauvages sont en fait les véritables championnes de la pollinisation. En effet, selon une grande étude internationale menée sur 41 systèmes de cultures dans le monde, coordonnée par Lucas Garibaldi (université Rio Negro, Argentine) et publiée en 2013, à nombre de fleurs visitées égal, ces insectes sont deux fois plus efficaces que l'abeille domestique pour induire la formation de fruits.

Pourquoi ? Parce qu'elles sont souvent plus petites, avec des poils plus nombreux, et que certaines descendent plus profondément au cœur des fleurs.

Comparée à celle des abeilles sauvage, la piètre performance d'*Apis mellifera* n'est pas

## Contexte

Toutes les abeilles ont disparu des vergers du Sichuan, en Chine ; le nombre de ruches a diminué de 60 % aux Etats-Unis depuis 1950, et les apiculteurs français peuvent en perdre jusqu'à un tiers chaque hiver. En France, les études montrent qu'*Apis mellifera* est à la fois victime des pesticides, des maladies qui se propagent dans la promiscuité des ruches et de son homogénéité génétique.

## Voici 8 superpollinisateurs potentiels



***Bombus terrestris***  
en cours de domestication

Les colonies de bourdons terrestres sont utilisées pour polliniser les cultures sous serres (tomates, aubergines, fraises...). En faisant vibrer leur abdomen contre les fleurs, ils libèrent le pollen, un "travail" qui, en plein air, est réalisé par le vent.



***Andrea cineraria***  
sauvage

Abeille solitaire nichant dans les sols sablonneux, elle est une des premières à émerger au printemps. Avec les osmies et les bourdons, elle peut sauver les récoltes quand la météo est mauvaise et que les abeilles restent à la ruche.



***Megachile rotundata***  
en cours de domestication

Cet insecte solitaire est élevé en Amérique du Nord pour polliniser les cultures destinées à la production de semences. Cette "abeille coupeuse de feuilles de luzerne" (dont elle garnit son nid) a permis de multiplier par trois le rendement de cette plante.

### Des ruches bientôt cotées en Bourse...

Lorsque les abeilles manquent à l'appel, la solution la plus rapide consiste à faire venir en masse des colonies au moment de la floraison. Si la technique des ruches itinérantes est très ancienne, elle se pratique désormais à l'échelle industrielle et son but n'est plus tant la fabrication du miel que la pollinisation des cultures. C'est ainsi le cas en Californie, depuis les années 1960.

Chaque année, près de 1,6 million de ruches sont acheminées en camions pour y féconder les amandiers: chaque ruche est louée 150 dollars (environ 110 €). L'enjeu financier est devenu tel, qu'une sorte de marché boursier dédié à cette transhumance s'est même organisé. En France aussi les apiculteurs s'organisent. Ils sont de plus en plus nombreux à déplacer leurs ruches pour aider à la pollinisation (pour un prix moyen de 30 à 50 € par ruche). En 2013, un site de mise en relations directes avec les agriculteurs a même été créé: [www.beewapi.com](http://www.beewapi.com).



illogique: comme son nom l'indique, l'abeille mellifère a été sélectionnée et domestiquée depuis plus de quatre mille ans pour sa capacité à produire du miel, et non à polliniser.

Les agriculteurs ont seulement ensuite réalisé que sa proximité augmentait les rendements de certaines cultures. Ils ont alors, avec l'intensification de l'agriculture (au début du XX<sup>e</sup> siècle aux Etats-Unis et dans les années 1950-1960 en France), commencé à installer des ruches dans les vergers et les champs. Au point de reléguer au second plan, et parfois même d'oublier les autres pollinisateurs... avant de mesurer tout récemment que d'autres insectes sont en réalité beaucoup plus efficaces.

Même s'il ne s'agit pas de remplacer totalement *Apis mellifera*, qui reste actuellement la plus répandue autour de certaines grandes cultures, mais



***Eristalis tenax***  
sauvage

Malgré les apparences, cet insecte est bien une mouche, du groupe des syrphes. Elle visite les fleurs de carottes ou de persil dont elle transporte le pollen, accroché à ses poils. Autre avantage: ses larves se nourrissent de pucerons.

plutôt de compléter son travail, l'utilisation de nouveaux pollinisateurs n'est plus une utopie.

D'autant que, si ces insectes sauvages sont aussi sensibles aux pesticides (dont les néoni-



***Osmia cornuta***  
en cours de domestication

Abeilles solitaires nichant dans des cavités naturelles ou artificielles, les osmies sont très efficaces pour polliniser les arbres fruitiers. Si certaines sont déjà élevées dans ce but aux Etats-Unis et au Japon, cette osmie cornue pourrait l'être en Europe.



***Lucilia sericata***  
en cours de domestication

Sauvage, cette mouche pollinise les fleurs de manguier ou les fleurs d'arum à odeur de charogne qui lui rappellent les carcasses dans lesquelles elle pond. En Europe, elle est commercialisée pour la production de semences de légumes.



***Halictus tumulorum***  
sauvage

Les halictes, abeilles solitaires qui nichent dans le sol, sont attirées par les astéracées (tournesol, chicorée, laitue...). Contrairement aux femelles qui récoltent le pollen, les mâles (photo) le transportent de manière passive, lorsqu'ils se nourrissent de nectar.



***Lycaena phlaeas***  
sauvage

Si les papillons se nourrissent aussi de nectar, ils sont parfois fidèles à un seul groupe de plantes : ainsi ce cuivré commun se rencontre-t-il surtout sur les fleurs d'oseille. Mais leur anatomie est moins adaptée au transport du pollen.

cotinoïdes, qui les désorientent à faible dose et les tuent à forte dose), ils sont, en revanche, beaucoup moins touchés par les maladies qui affectent les abeilles domestiques.

#### UN PREMIER TEST CONCLUANT

Leur force pour résister aux infections ? Ne pas souffrir comme les abeilles de la promiscuité des ruches et posséder une plus grande diversité génétique.

Aujourd'hui, l'une des stratégies consiste donc à repérer les insectes les plus performants et les plus résistants... et à les installer aux abords des cultures qui leur sont les mieux

adaptées. Une forme de domestication partielle.

C'est le cas dans la vallée centrale de Californie, où 320 000 hectares d'amandiers fournissent 80 % de la production mondiale de ce fruit à coque. Chaque année, en février, alors que les arbres se couvrent de fleurs, 1,6 million de ruches affluent de tout le pays. Sans elles, le rendement serait divisé par 70.

Aujourd'hui, le cheptel américain n'y suffit pourtant plus et la pénurie de ruches commence à se faire cruellement sentir : en 2013, il a même fallu importer des colonies d'Australie.

L'entomologiste Theresa Pitts-Singer (université d'Etat de l'Utah) tente donc de développer l'usage d'une abeille sauvage, *Osmia lignaria*, pour suppléer les colonies d'abeilles mellifères. Des nichoirs artificiels, comme des tubes en PVC contenant des pailles en carton, disposés dans l'exploitation, permettent ainsi d'augmenter localement la population de cette abeille solitaire.

Mais quand celle-ci a complètement disparu de l'agrosystème, comme c'est le cas en Californie, il faut au préalable l'élever en laboratoire.

L'opération est assez simple, car *Osmia lignaria* n'est pas agressive ni sujette aux maladies qui déciment les colonies. La difficulté vient ensuite : au moment de la relâcher en masse pendant la floraison. Le tempo doit alors être extrêmement précis, car si les abeilles sortent trop tôt, elles n'ont rien à manger et meurent ; si elles sont relâchées trop tard, une partie de la production est perdue.

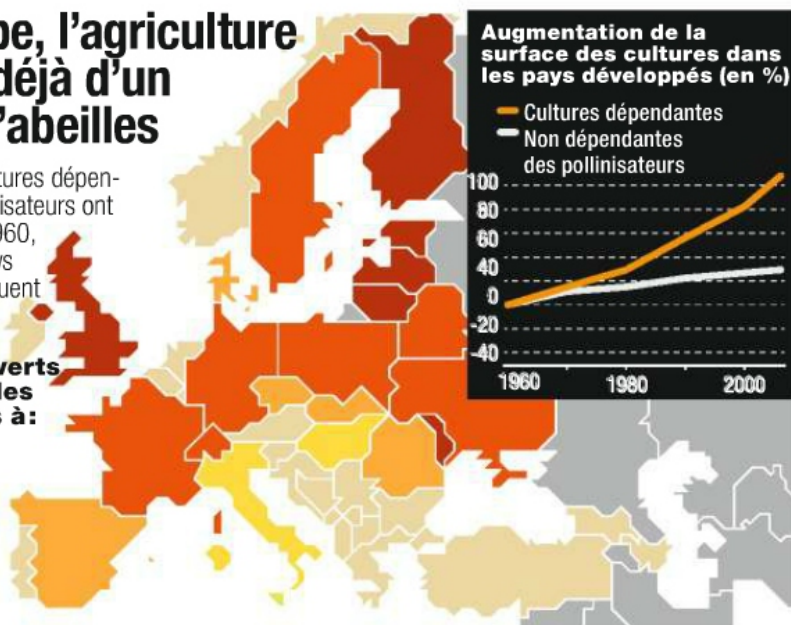
J.MEUL/MINDEN/CORBIS - DR - S.DALTON/MINDER/CORBIS - M.HICKEL/DPA/CORBIS - L.MURRAY/VU/CORBIS - S.FALK/OXFORD UNIV.

## En Europe, l'agriculture souffre déjà d'un déficit d'abeilles

Alors que les cultures dépendantes des pollinisateurs ont doublé depuis 1960, de nombreux pays européens manquent d'abeilles.

### Besoins couverts par les abeilles domestiques à :

- > 90 %
- 75-90 %
- 50-75 %
- 25-50 %
- < 25 %



→ D'où l'importance de bien connaître leur cycle de développement, qui sera ralenti ou accéléré en ajustant la température.

Autre défi : faire en sorte que le maximum d'insectes s'établissent et se reproduisent dans le verger. Ainsi, les pontes déposées dans les nichoirs seront facilement récupérées et stockées jusqu'à l'année suivante.

Or, pour le moment, la moitié des femelles vont nicher en dehors du verger. "Nous allons tester un spray attractif pour les appâter vers les nichoirs", annonce Theresa Pitts-Singer.

Pour l'heure, l'introduction d'osmies a été tentée à petite échelle. "Dans les zones où nous les avons relâchées, le nombre d'amandes produites augmente par rapport aux zones où il n'y a que des abeilles domestiques", explique Derek Artz, qui collabore au projet américain. "En disposant des nichoirs à intervalles réguliers dans le verger, en plus des ruches placées à la périphérie, nous pensons que le rendement sera plus uniforme sur l'ensemble du verger", ajoute Theresa Pitts-Singer.

Il manque en France plus de la moitié des abeilles nécessaires au maintien des rendements agricoles.

Mais la grande efficacité des abeilles sauvages a aussi ses limites : leur spécialisation sur un ou quelques types de plantes, à la différence des abeilles domestiques, oblige à réaliser un travail de sélection et de semi-domestication pour chaque type de cultures. Pour chaque candidate, il faut étudier les cycles de développement, les maladies, concevoir des nichoirs adaptés, tester la densité d'insectes nécessaire à une pollinisation optimale...

Cette stratégie est donc encore très peu utilisée. Et les programmes de recherche encore rares : ce travail n'a été réellement effectué que pour une poignée d'espèces, dont une mouche – *Lucilia sericata* – commercialisée pour la production de semences de légumes, ou le bourdon terrestre, *Bombus terrestris*.

Mais gare aux solutions miracles que l'on voudrait exporter. Ainsi *Bombus terrestris*, originaire d'Europe, après avoir

## Vers des colonies d'abeilles-robots ?

C'est le projet fou d'une équipe pluridisciplinaire de l'université Harvard (Etats-Unis) : envoyer des robots assister les insectes dans leur tâche de pollinisation. Ils viennent ainsi de faire voler de manière contrôlée un robot-insecte de 80 mg, surnommé RoboBee. Mais ce n'est pas tout. Les chercheurs envisagent la constitution d'une "colonie" d'abeilles-robots capable de polliniser tout un champ. Elle serait dotée d'abeilles éclairées qui repéreraient, comme les vraies, les signaux ultraviolets des pétales de fleurs. L'ordinateur central de la ruche (qui abriterait une station de charge) collecterait leurs informations afin de construire une carte complète de leur milieu et optimiser la pollinisation. Mais avant d'en arriver là, il faudra rendre RoboBee autonome grâce à une batterie et un cerveau informatique, et lui apprendre à polliniser, ce qui ne sera pas une mince affaire compte tenu de la diversité des morphologies florales.



été introduit en Patagonie pour y polliniser les avocats, est-il devenu là-bas un invasif qui élimine les espèces de bourdons locales. “Il est aujourd’hui si abondant qu’il abîme les fleurs, ce qui a diminué les rendements”, ajoute le chercheur argentin Marcelo Aizen (université nationale de Comahue).

### UNE INDISPENSABLE DIVERSITÉ

C’est donc certain, pour regonfler les rangs des pollinisateurs, la stratégie de la semi-domestication ne suffira pas. Les scientifiques le savent parfaitement : “Les agriculteurs ont tout intérêt à favoriser localement la variété et la bonne santé des pollinisateurs sauvages”, indique Tom Breeze (université de Reading, Royaume-Uni).

Leur ennemi principal, c’est la perte de leur habitat. Au point que ces pollinisateurs sont très peu présents dans les grandes monocultures.

De plus, les populations d’abeilles sauvages subissent naturellement d’importantes fluctuations. La solution pour limiter les mauvaises années :

L’absence de pollinisateurs menacerait 84 % des cultures européennes		
Types de cultures	Plantes pollinisées par le vent	Plantes pollinisées par les insectes
Arboriculture fruitière	<b>Arbres</b> : châtaignier, noyer <b>Arbustes</b> : noisetier	<b>Arbres</b> : cerisier, mirabellier, pommier, poirier... <b>Arbustes</b> : airelles, canneberges, cassis, framboises, groseilles à maquereaux, groseilles rouges, mûres, myrtilles...
Cultures maraîchères et ornementales	<b>Herbacées</b> : houblon, rhubarbe... <b>Autres</b> : vigne...	<b>Plantes potagères</b> : <b>Alliacées</b> : ail, ciboule, ciboulette, échalote, oignon, poireau... <b>Crucifères</b> : artichaut, cardon, chicorée, estragon, laitue, salsifis, topinambour... <b>Labiées</b> : basilic, menthe, origan, sarriette, sauge, thym... <b>Solanacées</b> : aubergine, piment, poivron, pomme de terre, tomate... <b>Cucurbitacées</b> : citrouille, courgette, concombre, cornichon, courge, courgette, melon, potiron... <b>Ombellifères</b> : aneth, anis étoilé, carotte, céleri, cerfeuil, cumin, fenouil, panais, persil... <b>Autres</b> : fraise, mâche... <b>Fleurs</b> : chrysanthème, lavande, rose, tulipe...
Cultures de plein champ	<b>Graminées</b> : blé, orge, maïs... <b>Autres</b> : betterave, chanvre...	<b>Légumineuses</b> : fève, féverole, haricot, lentille, luzerne, pois, pois chiche, sainfoin, trèfle <b>Oléagineuses</b> : colza, lin, tournesol <b>Autres</b> : moutarde, sarrasin...

SOURCE : AGRICULTURE.WALLONIE.BE

leur garantir le gîte et le couvert en optimisant leur environnement.

Ainsi, pour croître et multiplier à proximité des champs, ces abeilles majoritairement solitaires doivent y trouver des tiges creuses ou des sols nus pour creuser des terriers. Et elles doivent aussi trouver des fleurs à butiner en dehors de la courte période de floraison des monocultures.

Enfin, il faut aussi veiller à leur éviter l’influence néfaste des pesticides. “Plus le paysage est diversifié, plus les espèces ont des chances de trouver ces trois conditions dans leur rayon d’action. Rayon qui varie de 150 mètres pour les abeilles les plus petites, à quelques kilomètres pour les bourdons”, explique Serge Gadoum, spécialiste des abeilles sauvages à

l’Office pour les insectes et leur environnement, à Guyancourt.

Varier les cultures dans l’espace et dans le temps, planter des bandes fleuries autour des champs en privilégiant les plantes autochtones, préserver en milieu agricole quelques lopins de milieux semi-naturels (haies, bosquets, talus), utiliser moins de pesticides... Il s’agit donc d’une stratégie indispensable pour sauver le rendement des plantes entomophiles.

Autrement dit, il faut accepter de revenir en partie sur l’intensification de l’agriculture qui a permis d’augmenter la production agricole ces soixante dernières années.

Irréaliste ? Très pragmatique au contraire. Dans une étude, Nicolas Deguines (Muséum national d’histoire naturelle, à Paris) montre que l’intensification



→ de l'agriculture n'a pas eu l'effet escompté sur les rendements des plantes les plus dépendantes des pollinisateurs, telles que les courgettes, les courges, les kiwis, les melons, les pommes ou les poires. Au contraire ! Elle les a rendus moins stables dans le temps.

De manière contre-intuitive, revenir sur l'intensification pourrait donc garantir la sta-

la fleur. Résultat : l'absence d'un des deux groupes entraîne une fécondation incomplète et des fruits mal formés.

Dans certaines cultures, la synergie va au-delà d'un simple effet additif : la présence d'abeilles sauvages rend plus efficaces les abeilles domestiques. C'est le cas de la production des semences hybrides, pour laquelle on plante en alternance

sont encore possibles... A condition de sauvegarder la biodiversité. *"En définitive, c'est l'économie et les politiques agricoles actuelles qui façonneront notre capital de pollinisation à venir"*, conclut William Kemp (service de recherche agricole, Etats-Unis).

Dans la décennie qui vient, nos choix détermineront si nous devons remplacer ce service de



## Quand les hommes remplacent les abeilles

Plus aucune abeille à l'horizon. Privées de leur habitat naturel par la déforestation et décimées par l'usage intensif de pesticides, les abeilles sauvages ont totalement disparu de la province chinoise du Sichuan. Et les apiculteurs, victimes de la situation, refusent de louer leurs ruches. Ce sont donc les hommes qui, ici, depuis plus de vingt ans, les remplacent dans les vergers de pommiers et de poiriers : munis d'un pinceau, une fiole de pollen autour du cou, ils grimpent dans les arbres pour les polliniser fleur par fleur. Mais le coût de la main-d'œuvre ayant augmenté entre 2001 et 2011, certains paysans ont décidé de planter des pruniers et des noyers, dont les fleurs peuvent s'autoféconder.

bilité des rendements, tout au moins pour ces cultures.

*"De nombreux exemples font état d'une augmentation des rendements lorsqu'une diversité de pollinisateurs est préservée"*, renchérit Marcelo Aizen. En effet, les insectes diffèrent par leurs préférences thermiques, leur comportement...

Ainsi, les abeilles domestiques ne butinent que le haut des fleurs des fraisiers, alors que les abeilles sauvages (des familles *Andrenidae*, *Halictidae* et *Megachilidae*), plus petites, se déplacent jusqu'au fond de

des rangées de plants mâles et femelles. *"Par leur trajectoire erratique, les abeilles sauvages forcent les abeilles domestiques à changer de rangée plus fréquemment, ce qui favorise le transfert de pollen des plants mâles aux plants femelles"*, explique Nicolas Cerrutti, chargé d'études au Centre technique interprofessionnel des oléagineux et du chanvre.

Face à la grande pénurie qui menace certaines régions du globe, dont plusieurs pays européens, rien n'est donc encore perdu et des actions efficaces

la nature par des robots-abeilles, avec tous les défis que cela comporte. Ou recourir massivement à la main-d'œuvre, comme dans certains vergers chinois. Une chose est sûre : si on veut continuer à manger des pommes de terre, des tomates, de la moutarde ou des cerises, il y a urgence à trouver des solutions.

A consulter : l'atlas des abeilles sauvages d'Europe.

A découvrir : le programme de sciences participatives de suivi photographique des pollinisateurs.

science-et-vie.com

## Offre spéciale

## Nouvelle formule

# Abonnez-vous à Science & Vie et ses hors-séries

**49€** seulement  
au lieu  
de 70,20€

seulement  
au lieu  
de ~~70,20~~ €

**12 numéros**  
**+ 4 hors-séries**

**-30%**  
de réduction

**Profitez vite de cette offre !**



## BULLETIN D'ABONNEMENT

**A compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:**  
**SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9**

- ☐ **Oui, je m'abonne à Science & Vie pour 1 an (12 n°) + 4 Hors-séries pour 49€ au lieu de 70,20€ soit plus de 30% de réduction**

762 229

- ☐ Je préfère m'abonner à Science & Vie 1 an (12 n°)  
pour **35€** au lieu de ~~50,40 €\*~~

762 237

**Chaque mois,  
retrouvez le plaisir de comprendre  
le monde qui nous entoure.**

**SCIENCE & VIE**

Nos archives numériques sur :  
[www.archives.science-et-vie.com](http://www.archives.science-et-vie.com)  
+ de 300 n° et 15 000 articles numérisés.



Disponible sur  
[KiosqueMag.com](http://KiosqueMag.com)

➤ Voici mes coordonnées :

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

**Adresse :** .....

**Complément d'adresse** (résidence, lieu dit, bâtiment...) : .....

Code Postal :      Ville :

Tél :        Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrions vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail :

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori) ☐

➤ **Mode de paiement :** ☐ Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

□  | | | | | | | | | |

Expire à fin     Code Crypto

Les 3 chiffres au dos de votre CB

Date et signature obligatoires

\*Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/06/14 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquiescer séparément chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,20 € et chacun des hors-série au prix de 4,95 €. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées. Science & Vie – TSA 10005 8 rue François Arago 92543 Montrouge cedex RCS B 572 134 773 - Capital : 1 177 360 €

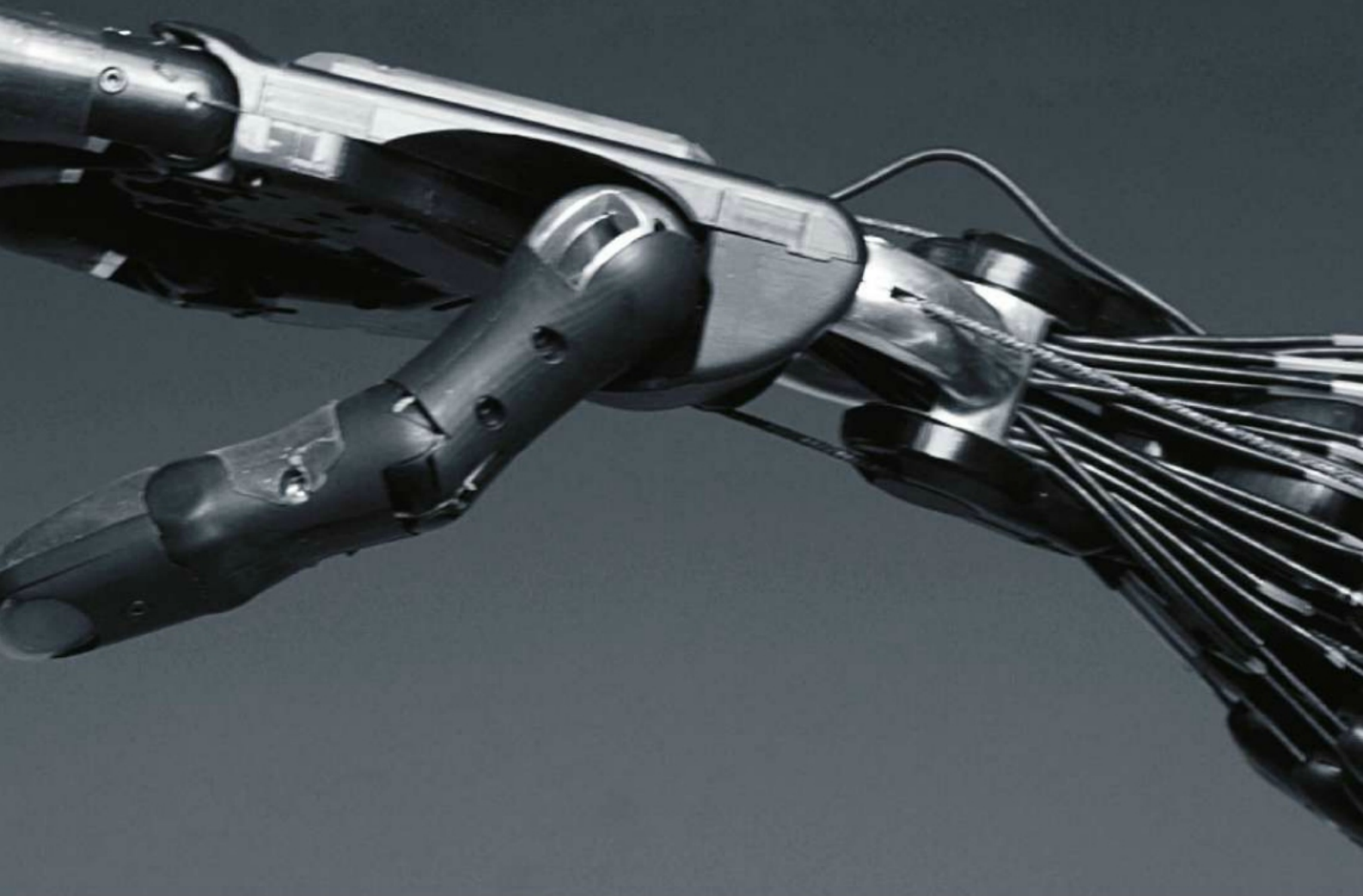


# Robots

## Comment ils tentent de réinventer la main

Polyvalente et intelligente, la main est l'outil le plus complexe du corps humain. Un vrai casse-tête de biomécanicien... Au point que les robots les plus élaborés ne peuvent que se spécialiser dans certaines fonctions rudimentaires. Etat des lieux.

Par **Vincent Nouyrigat** et **Gabriel Siméon**



^ Cette main automatique n'est pas une prothèse, mais un véritable robot autonome, le Shadow Dexterous Hand, conçu par la société anglaise Shadow.

**L**e constat est largement partagé : les robots sont partout. Ils conquièrent le monde, remplaçant les humains dans des tâches toujours plus sophistiquées. Au point de donner l'impression de toucher à tout...

Vraiment ? Mais, qui assemble nos smartphones et autres ordinateurs portables ? Qui assure les soudures sur les chaînes de montage automobile ? Qui toilette les grabataires ? Ou qui se risque dans les recoins peu recommandables des centrales nucléaires ? Des “petites mains” de chair et d’os.

Et pour cause ! Le chef-d’œuvre anatomique qui se balance au bout de nos bras n’a, pour l’instant, aucun rival.

Un poignet, une paume, cinq doigts... Aucun autre outil n’est capable à la fois de visser une ampoule, enfoncer un clou avec un marteau, frapper un revers slicé, recoudre une artère, cueillir une cerise, pianoter négligemment, griffonner des notes, lancer une pièce, palper un melon ou reconnaître les yeux fermés le bouton STOP de son réveille-matin. En résumé : saisir un objet plus ou moins fermement, ressentir sa consistance et tout son relief – en un

### Enjeux

Tous les objets du quotidien ont été façonnés pour la main humaine. D'où l'importance de trouver un équivalent robotique. Car, pour l'instant, l'utilisation des robots industriels se cantonne à quelques tâches précises, faute de polyvalence. Une impasse pour les entreprises qui expriment désormais le besoin de disposer de lignes de production automatisées et flexibles – aménageables en vingt-quatre heures. Quant aux “robots compagnons”, censés assister à l'avenir les personnes âgées, ils savent à peine verser un verre d'eau.

## La main humaine est une merveille mécanique...

### Mobilité

23 degrés de liberté  
Vitesse de fermeture  
des doigts : 80 cm/s

### Préhension

Universelle,  
s'adapte à  
toutes les  
formes

### Toucher

Sensible aux reliefs de 2 mm,  
capable de ressentir un filament  
de 0,008 g

### Anatomie

29 articulations  
39 muscles  
48 nerfs  
2 500 récepteurs  
tactiles/cm<sup>2</sup>  
Poids total : 500 g

### Force

Soutient jusqu'à  
40 kg

mot, le tact –, puis le manipuler avec une grande précision.

“Parmi tout ce qui existe dans le monde biologique ou matériel, notre main est l'organe qui assure la plus vaste gamme de tâches possibles, la plus grande adaptabilité, admire Laurent Vigouroux, biomécanicien à l'Institut des sciences du mouvement (université d'Aix-Marseille). Elle présente, de fait, un parfait compromis entre précision et puissance.”

Le contraste avec les robots industriels est saisissant. “Leurs préhenseurs sont dédiés à une tâche unique très précise, comme soulever 16 bouteilles en même temps, explique Florent Lamiroux, spécialiste du mouvement robotique au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS). Ils opèrent de manière répétitive, sans obstacle sur leur trajectoire, et sans surprise sur la forme et la taille des pièces qu'ils manipulent.”

Des faiblesses congénitales qui plombent l'avenir de ces machines. “Cette robotique-là ne permettra pas de répondre aux besoins futurs d'une production flexible, aux attentes sociales de services à la personne ou de coopération avec les humains”, détaille Jean-Pierre Gazeau, ingénieur en robotique à l'université de Poitiers.

Un constat lucide qui, depuis quelques années, mobilise de grands laboratoires. Dont l'objectif est clairement affiché : rivaliser une fois pour toutes avec la main humaine... En l'imitant trait pour trait ou, à défaut, en explorant d'autres voies.

Reproduire la main humaine ? Le programme est vertigineux quand on songe au rôle joué par cet organe dans le destin d'Ho-

mo sapiens. “Il y a tout lieu de penser que ce sont les mains qui ont fait ce que nous sommes aujourd'hui, des êtres qui agissent sur le monde de manière active et créative, lance Zdravko Radman, de l'Institut de philosophie de Zagreb, auteur de *La main, organe de l'esprit* (MIT Press, 2013). Nos manipulations ont sans cesse réaménagé notre espace mental. Dans beaucoup d'activités performatives, les mains prennent même le contrôle, elles possèdent leur propre savoir-faire, leur propre intelligence.”

Selon Frédéric Danion, de l'Institut des neurosciences de la Timone, à Marseille, “c'est la partie du corps la plus représentée dans notre cerveau, aussi bien dans le cortex sensoriel que dans le cortex moteur ; près de la moitié des neurones lui sont consacrés”.

### IL LEUR FAUT AUSSI 5 DOIGTS !

La main fait l'Homme... Mais pas n'importe quelle main ! “Ses caractéristiques les plus singulières sont cette capacité de creusement de la paume, le métacarpe, et la possibilité de mettre en contact la pulpe du pouce avec celle des quatre autres doigts”, précise Guillaume Daver, professeur à l'Institut de paléoprimateologie et paléontologie humaine, à Poitiers. Des propriétés architecturales sacrément adaptées à la préhension et au travail des outils.

“Sur le plan mécanique, la main est l'organe le plus complexe du corps humain : elle présente dans un espace très réduit 23 degrés de liberté de mouvement, quand la jambe en compte 8 au maximum, détaille Laurent Vigouroux. Ajoutez à cela une grande

complexité musculaire, avec des articulations pilotées par quatre muscles au lieu d'un, ce qui lui permet de s'adapter à toutes les formes d'objets." Reproduire la main humaine est bien une gageure.

Dans leur quête, les roboticiens doivent penser à tout. A commencer par respecter... le nombre de doigts. "Une main à trois doigts obligerait à reposer sans cesse un objet à chaque manipulation, alors que le quatrième doigt permet de le faire tourner dans la paume, et que le cinquième stabilise la prise en puissance, comme lorsqu'on frappe avec un marteau", expose Jean-Pierre Gazeau, qui a développé la main Abilis.

L'implantation de ces extrémités articulées est également essentielle, poursuit Maxime Chalon, roboticien à l'agence spatiale allemande DLR, qui développe un robot-astronaute doté de deux mains anthropomorphes: "Le pouce doit pouvoir s'écarter et se placer sur le même plan que les autres doigts pour pousser un meuble, par exemple."

## Le vrai défi est de faire de ces mains automatiques des mains... intelligentes

Toute la structure est mue par une vingtaine de moteurs, d'articulations et de tendons métalliques. Un véritable casse-tête: "Nous cherchons les tendons artificiels capables de résister mécaniquement à toutes les manipulations. Il faut aussi trouver le bon compromis entre dextérité et force déployée; la force exige de plus gros moteurs, ce qui demande d'en éliminer certains par manque

d'espace, d'où une perte de finesse de mouvement."

Dans cette communauté de recherche émergente, les débats sont parfois âpres: faut-il placer des capteurs tactiles sur la paume ou au bout des doigts, au prix de calculs de trajectoires extrêmement lourds? Car ces mains automatiques doivent aussi faire preuve d'intelligence. "En l'état, nous sommes obligés de tout calculer, de modéliser chaque situation: il manque une méthode simple qui pourrait traiter tous les cas", admet Nicolas Mansart, spécialiste en intelligence artificielle au LAAS.

Le résultat de tous ces efforts? Des copies plus ou moins pâles. Certains prototypes font bonne figure dans la saisie d'objets divers, d'autres dans la manipulation fine.

Ainsi la préhension est-elle le point fort de la main de la société Shadow, rappelle l'un de ses artisans, Juan Corrales Ramon, à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (Paris): "Elle peut effectuer les 33 types de saisie prati-

qués dans les principales tâches humaines", dont l'usage d'un stylo, d'une vis, de

ciseaux, de baguettes... Mais le chercheur s'empresse de signaler un sérieux problème: "Elle peine à récupérer un objet lorsqu'il commence à lui glisser entre les doigts."

Car la question est aussi de savoir quelle force exercer pour empêcher un objet de s'échapper... sans l'écraser. En termes de manipulation fine, "notre robot est capable de visser une ampoule", soutient Jean-Pierre

## ... que les robots peinent encore à égaler

### Mobilité

20 degrés de liberté  
Vitesse de fermeture des doigts: 16 cm/s

### Toucher

Sensible aux textures micrométriques

### Préhension

33 types de saisie formatées

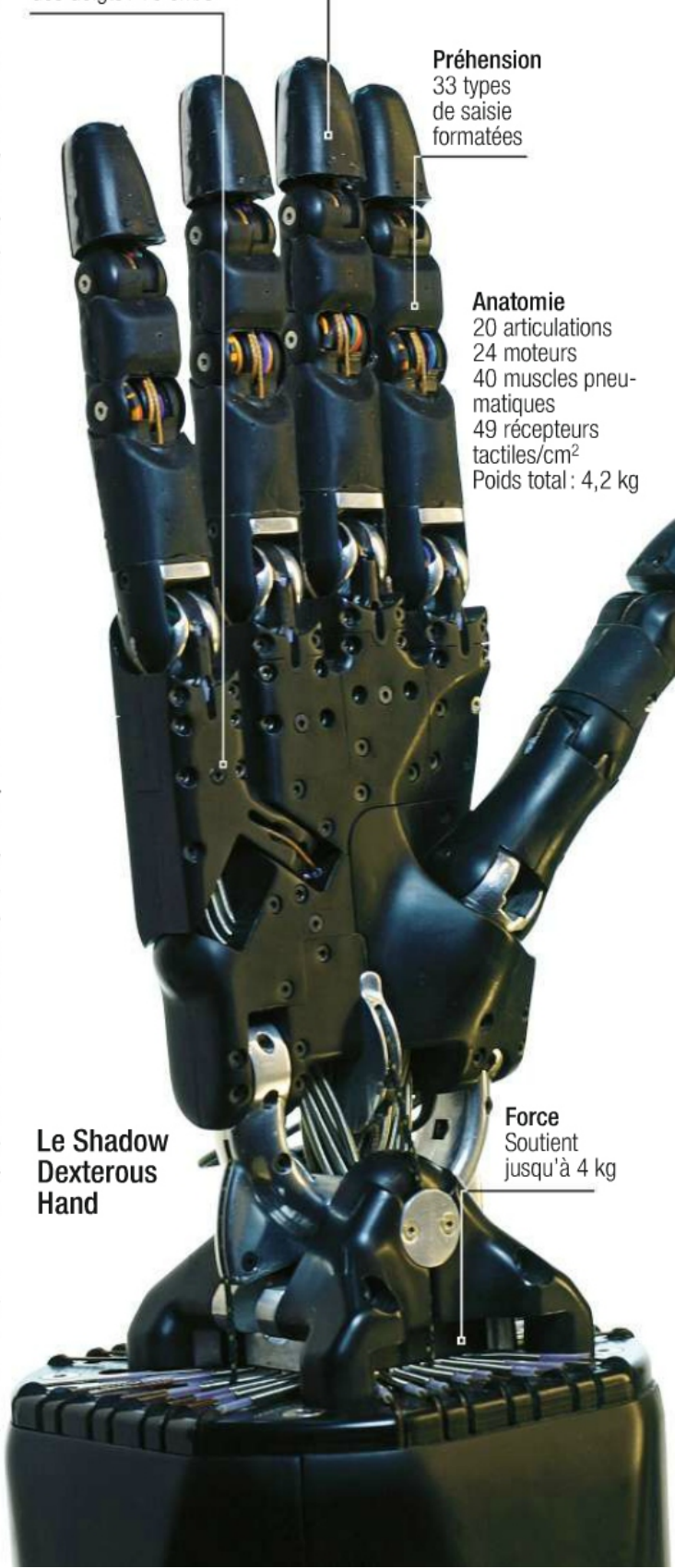
### Anatomie

20 articulations  
24 moteurs  
40 muscles pneumatiques  
49 récepteurs tactiles/cm<sup>2</sup>  
Poids total: 4,2 kg

### Le Shadow Dexterous Hand

### Force

Soutient jusqu'à 4 kg



→ Gazeau. Maxime Chalon, de l'agence spatiale allemande, s'enthousiasme aussi pour sa machine: *"Je pense que notre robot pourrait rivaliser en dextérité avec la main d'un astronaute engoncé dans son gros gant pressurisé."*

Avant de tempérer... *"Il faudra attendre vingt ou trente ans avant d'arriver à des résultats puissants. A court terme, la recherche sur la main anthropomorphe ne se justifie pas économiquement."*

### UNE CURIOSITÉ DE LABORATOIRE

Raide, fragile, parfois bluffante, mais trop souvent malhabile... Pour les industriels, la main robotique n'est encore qu'une curiosité de laboratoire. *"C'est pourquoi des roboticiens se sont lancés à la recherche d'une solution intermédiaire entre la main, trop compliquée, et la pince, trop simpliste"*, indique Jean-Pierre Gazeau. Quitte à imiter – voire surpasser – seulement certaines caractéristiques de la main humaine.

Où à imaginer d'autres manières d'agripper des objets, un peu moins universelles, mais potentiellement aptes à manipuler une dizaine d'objets différents. Et donc à s'insérer sur des lignes de fabrication flexibles, passant d'un produit à un autre du jour au lendemain.

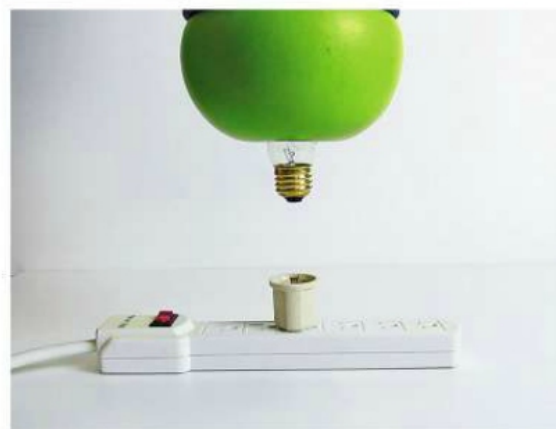
Un poignet, une paume, cinq doigts. A une époque où l'intelligence artificielle multiplie les fulgurances, savoir que la main humaine reste imbattable a quelque chose de rassurant. Au vrai, regarder ces robots un peu manchots buter sur certaines tâches enfantines est même assez réjouissant. Reste à savoir combien de temps résistera cet avantage manuel, l'un des derniers "propres de l'Homme".

## Les ingénieurs misent sur des mains spécialisées



### La plus sensible

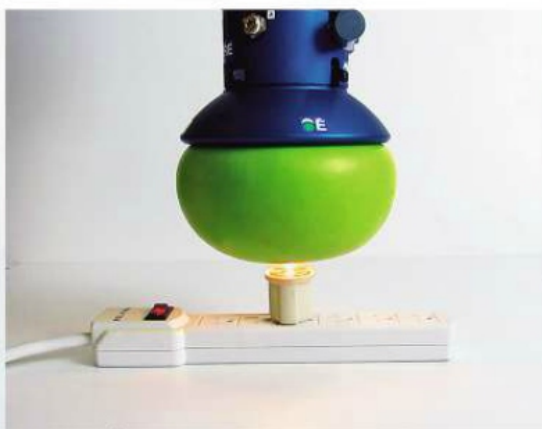
Le capteur BioTac de Syntouch, un doigt en silicone de la taille d'une phalange, détermine la texture ou la température d'un objet plus précisément que l'homme. *"Il différencie le métal poli du verre, chose impossible pour un humain"*, témoigne un ingénieur de l'entreprise Shadow. *"Ses 'empreintes digitales' amplifient sa sensibilité aux vibrations et sa peau molle améliore la manipulation"*, décrit David Groves, chez Syntouch. *Il est déjà utilisé dans la recherche et en médecine pour reconnaître des textures et caractériser des surfaces."*



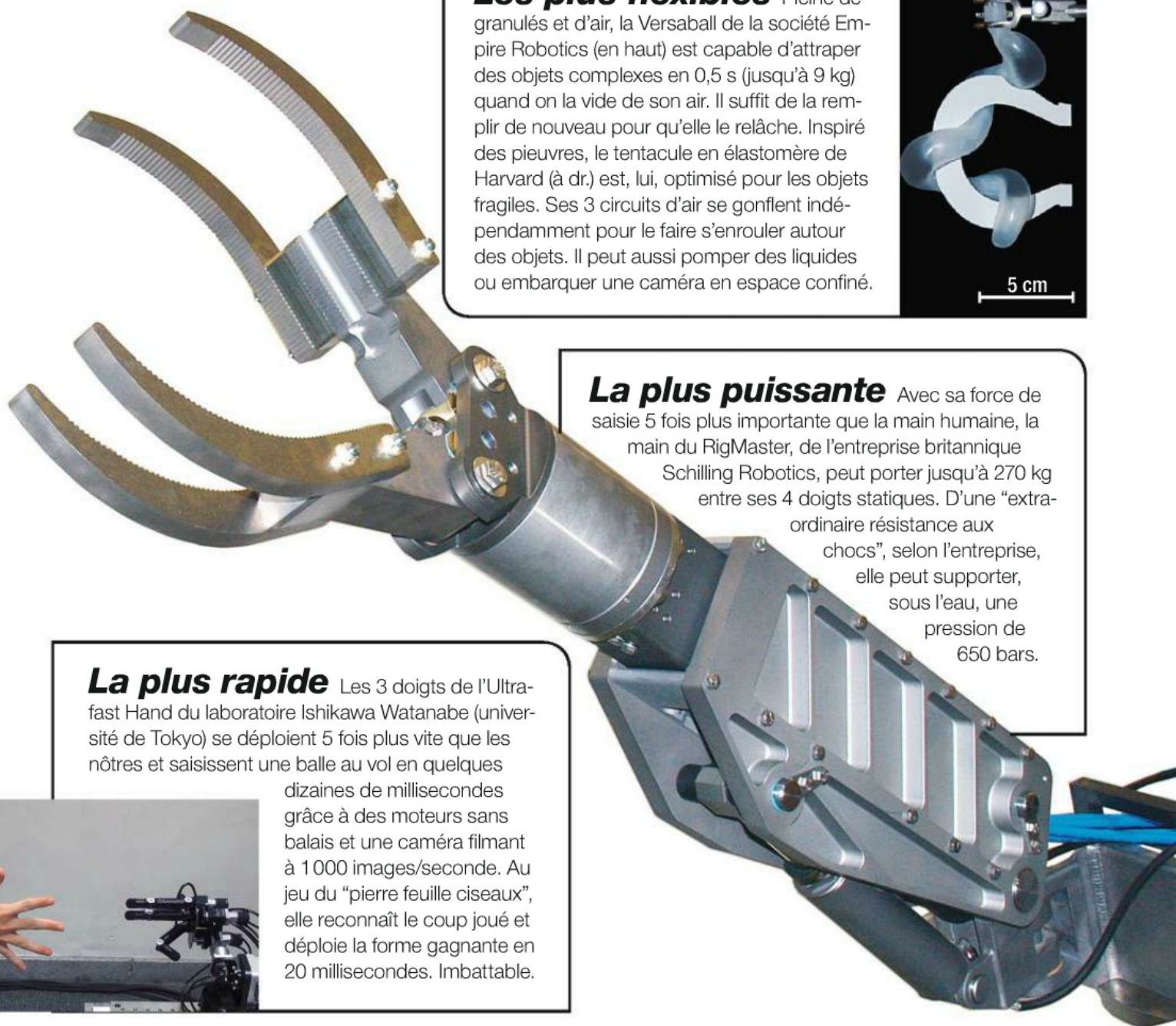
### La plus précise

Le PiezoGripper, de la société française Percipio Robotics, une pince montée sur un bras robotique, peut saisir des objets d'une épaisseur de 0,005 mm (la taille d'un globule rouge) avec une précision de 0,001 mm. Résultat de dix ans de recherche à l'Institut Femto-ST de Franche-Comté, elle se compose de deux "doigts" en céramique piézoélectrique qui se déforment une fois soumis à un champ électrique. Elle est utilisée pour l'assemblage de micro-éléments en électronique et en horlogerie, et en climatologie pour manipuler des fossiles de micro-algues.





**Les plus flexibles** Pleine de granulés et d'air, la Versaball de la société Empire Robotics (en haut) est capable d'attraper des objets complexes en 0,5 s (jusqu'à 9 kg) quand on la vide de son air. Il suffit de la remplir de nouveau pour qu'elle le relâche. Inspiré des pieuvres, le tentacule en élastomère de Harvard (à dr.) est, lui, optimisé pour les objets fragiles. Ses 3 circuits d'air se gonflent indépendamment pour le faire s'enrouler autour des objets. Il peut aussi pomper des liquides ou embarquer une caméra en espace confiné.



**La plus puissante** Avec sa force de saisie 5 fois plus importante que la main humaine, la main du RigMaster, de l'entreprise britannique Schilling Robotics, peut porter jusqu'à 270 kg entre ses 4 doigts statiques. D'une "extraordinaire résistance aux chocs", selon l'entreprise, elle peut supporter, sous l'eau, une pression de 650 bars.

**La plus rapide** Les 3 doigts de l'Ultra-fast Hand du laboratoire Ishikawa Watanabe (université de Tokyo) se déploient 5 fois plus vite que les nôtres et saisissent une balle au vol en quelques dizaines de millisecondes grâce à des moteurs sans balais et une caméra filmant à 1 000 images/seconde. Au jeu du "pierre feuille ciseaux", elle reconnaît le coup joué et déploie la forme gagnante en 20 millisecondes. Imbattable.



## Nouvelle croisière Aux origines de

(1) en cabine triple ou quadruple avec les parents hors taxes portuaires, vols, transferts et forfait de séjour à bord

### LES POINTS FORTS DE VOTRE CROISIÈRE

- Une croisière inoubliable par sa richesse scientifique, culturelle et humaine.
- Des tarifs et prestations exclusifs aux lecteurs Science & Vie.
- Un parcours passionnant avec des sites chargés d'histoire.
- Une croisière pour les enfants avec des ateliers ludiques et scientifiques.

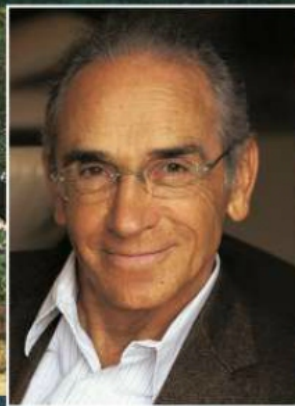
### LES CONFÉRENCIERS DE VOTRE CROISIÈRE



Mathilde Fontez',  
journaliste scientifique



Yves Coppens',  
paléanthropologue



François de Closets',  
votre maître de cérémonie

PALMA • TUNIS • PALERME • NAPLES • SAVONE



### LE PROGRAMME DE VOTRE CROISIÈRE

- **François de Closets'** animera plusieurs conférences dont «Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire» le roman-vrai d'Albert Einstein, et «Alerte à l'orthographe».
- **Yves Coppens'**, membre de l'Académie des Sciences tiendra deux conférences : «Les origines de l'homme, l'odyssée de l'espèce» et «Le métier de paléanthropologue».
- **Mathilde Fontez'**, journaliste scientifique, spécialiste de l'astrophysique vous initiera aux mystères de l'univers.

Et d'autres conférences et animations dont des ateliers de navigation à découvrir dans la brochure.

Des excursions vous seront proposées avec des visites de sites prestigieux, tels que Pompéi, Carthage et le musée du Bardo, Naples souterraine ou le Vésuve !

\*Sauf cas de force majeure. Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer.

SCIENCE & VIE

# l'homme et de l'univers

du 20 au 27 octobre 2014 - Vacances de la Toussaint

8 jours / 7 nuits  
à partir de

**890€**

**EN PENSION COMPLÈTE**

**Au départ de Marseille**

Prix TTC /pers. en cabine double cat. IC.

Forfait de séjour à bord inclus

Forfait boissons à table inclus

**Spécial vacances de la toussaint**

**Gratuité croisière enfants**

**-18 ans<sup>(1)</sup>**

**+ ANIMATIONS SPÉCIALES JUNIOR**

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

**0 811 020 033**

Du lundi au samedi de 9h30 à 17h30 (0,09€ TTC/min depuis un poste fixe en métropole)

OU SUR LE SITE : <http://origines.scienceetvievoyages.com>

En précisant  
le code avantage :  
**"SCIENCE ET VIE"**

**Costa**

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE & VIE CROISIÈRES - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

☐ **OUI**, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION COMPLÈTE  
de la croisière AUX ORIGINES DE L'HOMME ET DE L'UNIVERS proposée par Science & Vie Croisières.

☐ Mme ☐ M Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ..... Ville : ..... Date de naissance : .....

Tél. : ..... Email : .....

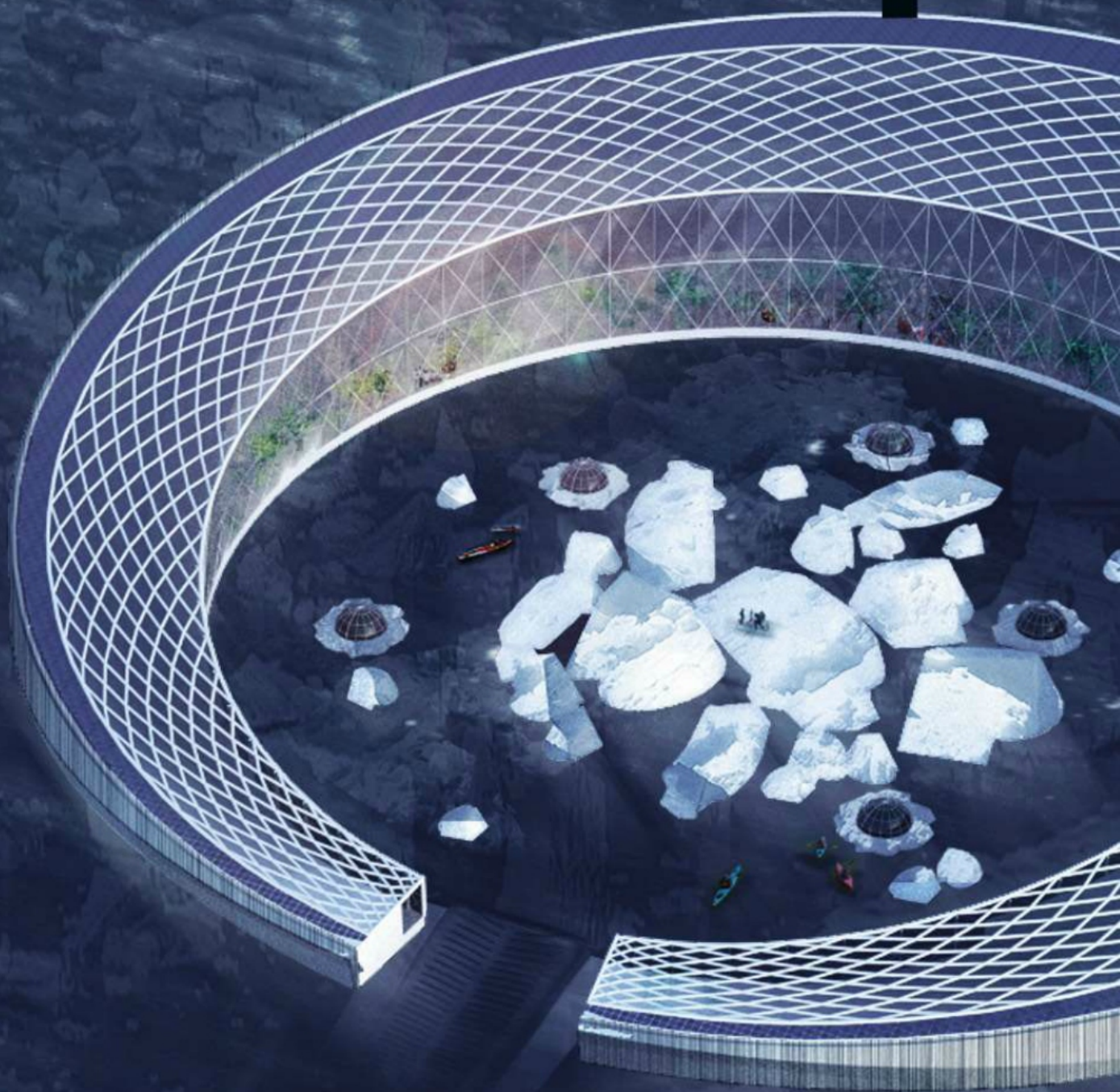
☐ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science et Vie et de ses partenaires. Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements d'adresse sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification des données vous concernant. Cette croisière est organisée en partenariat avec Costa Croisières : Costa Crociere S.p.A. France - Abut France 0921 00061. Science et Vie est une publication du groupe Mondadori France Siège Social : 8 rue François Dry - 92 543 Montrouge Cedex.  
Création, réalisation : aymplitude c.m.p. Crédits photos : © Stock : EnginKorinaz, hmeir - MisterLu - Argeirio © Shutterstock - Francesco R. Iacchino - © Costa Croisières.

**SCIENCE & VIE**  
**CROISIÈRES**

C14SV2D

**Costa**



^ Le projet "Arctic Harvester" mise sur la récupération de l'eau des icebergs pour alimenter des serres flottantes, capables d'accueillir et de nourrir 800 personnes.

ALIMENTATION

# L'Arctique se voit un avenir agricole *via* ses icebergs

Transformer en ressources agricoles les icebergs du Groenland et réduire ainsi sa dépendance alimentaire: c'est le défi que se sont lancé quatre anciens étudiants de l'Ecole nationale d'architecture de Paris-Malaquais. Leur solution? L'"Arctic Harvester", une structure flottante circulaire, qui ramasse en son centre les icebergs grâce à un tapis roulant. L'idée est de récupérer l'eau douce – riche en minéraux et en nutriments – des blocs de glace pour alimenter, dans des serres installées dans la structure, des cultures poussant sur un substrat de synthèse. D'après Meriem Chabani, coauteure du projet, les 83 000 m<sup>2</sup> de serres permettraient de récolter

1 600 tonnes de tomates, 120 t de pommes de terre, 80 000 pieds de laitue et 360 t de fraises par an. Plusieurs structures, avec de tels rendements, pourraient, à terme, pallier, voire inverser le déficit agricole du Groenland. L'Arctic Harvester est en outre conçu avec des installations capables d'accueillir 800 personnes, recréant ainsi tout un village, avec école, dispensaire, commerces, lieu de culte... "Nous ne voulons pas penser une ferme sans penser à ses fermiers", précise Meriem Chabani. Le groupe travaille à l'élaboration d'un prototype à petite échelle, qui devrait être mis à l'épreuve dans les eaux du Groenland l'année prochaine. B.Ro.

TOURISME SPATIAL

## Le vol stratosphérique pour tous se profile

Solarstratos, c'est l'ambition d'offrir à chacun le noir de l'espace et une vue imprenable sur la rotondité de la Terre. Il s'agit d'une équipe de pilotes chevronnés et de spécialistes des vols hors normes, dont le prototype d'avion biplace électrique doit effectuer son premier vol à 23 km d'altitude d'ici trois ans. Raphaël Domjan, à l'initiative du projet, le pilotera, équipé d'une combinaison spatiale. Un modèle commercial est envisagé l'année suivante. *"Fonctionnant à l'énergie solaire avec un appoint à l'hydrogène, il sera plus grand et pressurisé"*, annonce le pilote.

F.L



AGRICULTURE

## Une ferme bio s'ouvre dans les sous-sols de Londres

Une ferme à 33 m sous terre, en plein cœur de Londres. C'est le pari de Zero Carbon Food qui, après 18 mois d'expérimentation dans un bunker, a récolté divers légumes (5 kg par mètre planté). Selon Steven Dring, un des fondateurs, l'objectif est d'approvisionner restaurants, magasins et marchés proches avec des produits biologiques frais. Les végétaux poussent dans un substrat composé de fibres de coco et de chanvre arrosé régulièrement par un liquide riche en nutriments, sont éclairés 18 heures par jour par des LED, et maintenus à 16 °C par l'isolation naturelle du souterrain.

B.Ro.

BIOÉNERGIE

## Une **algue** teste l'**éclairage violet** pour gagner en rendement

Une serre expérimentale vient d'être inaugurée à Sophia-Antipolis pour accueillir des micro-algues et produire des biocarburants... jusque-là, rien de neuf, ces végétaux étant appréciés pour leur capacité à produire des huiles et des sucres. Sauf qu'elle sera couverte de panneaux solaires semi-réfléchissants. *"L'idée est de ponctionner une partie de la lumière pour produire de l'électricité, et de ne laisser passer que le rouge et le bleu : les longueurs d'ondes préférentielles de la chlorophylle"*, précise Olivier Bernard, responsable du projet. De quoi améliorer le bilan énergétique des micro-algues qui peinent à tenir leurs promesses, la culture et l'extraction des huiles consommant, pour l'heure, une importante quantité d'énergie. M.F.



SOLARSTRATOS - ZERO CARBON FOOD - M. MILLS

## **Idée neuve**

Matthew Mills  
(université de Floride)



ÉNERGIE

### IL PENSE CONTRÔLER LA FOUDRE AVEC DES LASERS

De puissantes impulsions laser projetées dans les nuages ioniseraient les molécules de l'air, concentrant les charges électriques jusqu'à déclencher des éclairs sur demande. *"Des chercheurs français avaient déjà proposé cette idée, précise Matthew Mills. Mais c'était purement théorique car les lasers de haute intensité s'affaiblissent au bout de quelques dizaines de centimètres à cause de la diffraction."* Ce n'est plus le cas. En fabriquant deux faisceaux en un – un premier laser de haute intensité inséré dans un second, moins intense –, le chercheur a réussi à maintenir une énergie de l'ordre de 1 kilowatt toutes les 10 nanosecondes sur des dizaines de mètres. *"Lorsque le premier faisceau se propage, le second l'alimente en lui transférant de l'énergie",* précise-t-il. Les premiers tests montrent que le laser parvient à se frayer un chemin dans un milieu aussi turbulent que peut l'être un nuage. Il ne reste plus qu'à le tester dans un véritable orage. M.F.



## AUTOMOBILE

### La voiture autonome démarre à Göteborg

Depuis quelques semaines, un groupe de voitures autonomes circule dans Göteborg (Suède). Equipés de caméras et de radars, ces véhicules, conçus par Volvo, analysent les signalisations au sol, freinent et accélèrent en fonction du trafic... même si un chauffeur est à bord pour reprendre la main, en cas de besoin. Objectif: faire circuler un parc de 100 véhicules autonomes d'ici à 2017 avant une commercialisation à large échelle vers 2020, pour améliorer la fluidité et la sécurité du trafic. M.V.

## HYDROLIENNE

### Cette aile va récolter l'énergie des courants

Produire de l'électricité grâce aux courants marins: l'aile Deep Green, de 3 m d'envergure mise au point par l'entreprise suédoise Minesto, est accrochée au sol par 25 m de fond dans les eaux d'Irlande du Nord, et décrit des huit sous l'effet des courants. Entraînées par ce mouvement, les hélices d'une turbine produisent ainsi de l'électricité 24 h sur 24. Si cette expérience se poursuit sans embûche, le constructeur vise un déploiement à grande échelle d'ici l'an prochain, avec des ailes de 8 à 14 m de long, fixées à 120 m de profondeur et qui pourraient chacune produire jusqu'à 850 kW. M.V.



ÉOLIENNE

## Un **cerf-volant** cherche **l'électricité** des vents d'altitude

S'il ressemble à un énorme cerf-volant, ce prototype de 15 m de diamètre est bien plus que cela. Il s'agit d'un des premiers modèles d'éolienne volante conçu pour capter des vents à très haute altitude. L'intérêt ? Des vents forts et réguliers offrant une production électrique à la fois intense et sans à-coup. En pratique, le spécimen construit par l'entreprise américaine Altaeros Energies est gonflé à l'hélium – ininflammable – et s'inspire d'un aérostat de l'armée américaine. Les premiers tests à 100 m d'altitude effectués il y a un an avaient permis de produire 1,5 kW, l'équivalent d'une petite éolienne domestique.

L'entreprise prépare une expérimentation à 300 m d'altitude, pour produire jusqu'à 30 kW. *"Le plus grand défi est d'arriver à avoir un modèle fiable, puisque nous souhaitons laisser l'éolienne opérer de manière autonome, plusieurs mois d'affilée, quelles que soient les conditions météo",* précise Adam Rein. Prochaine étape : obtenir le feu vert des autorités locales en Alaska avant de procéder à une installation dans les tout prochains mois. **M.V.**

Rendez-vous en...

**2025**

ESPACE

### LE PREMIER VOL HABITÉ AU CONTACT D'UN ASTÉROÏDE

Il y a quatre ans, Barack Obama annonçait qu'un vaisseau piloté par des astronautes entrerait en contact avec un astéroïde en 2025, et que l'homme se poserait sur Mars dans la décennie 2030.

La première de ces ambitions est en train de se concrétiser. A la fin du mois de mars, la Nasa a confirmé l'échéance de 2025, et en a précisé les modalités. Première étape : construire un vaisseau automatique pour capturer un astéroïde à proximité de la Terre, puis le mettre en orbite lunaire lointaine.

Comment ? Le jeu est encore largement ouvert. Le recours à un dispositif gonflable, venant entourer l'astéroïde, figure pour l'heure en *pole position*. Deuxième étape : confier à des astronautes le soin de prélever des échantillons sur l'astéroïde capturé, avant de les ramener sur Terre pour analyse. Le vaisseau pressenti, *Orion*, est en cours de test au sol, et devrait faire un premier vol d'essai en décembre. Le lanceur, lui, n'est pas construit. Beaucoup d'efforts pour de vulgaires cailloux ? Non, car Mars reste le but ultime et, pour la Nasa, mettre la main sur un astéroïde en est une étape essentielle. **F.L.**

ARCHITECTURE

# Une **tour** veut fixer le **CO<sub>2</sub>** pour s'autoconstruire

Elle n'existe que sur le papier. Mais les murs de cette tour sont conçus pour "pousser" grâce au dioxyde de carbone. L'idée, inspirée par les recherches fondamentales sur la transformation du CO<sub>2</sub> en roches carbonatées, a valu à deux étudiants en architecture de l'université de Toronto la troisième place au concours international eVolo. Comme dans un bâtiment en béton armé, un treillis métallique dessine les contours de l'immeuble. Mais à la place du béton, c'est un matériau fixant le CO<sub>2</sub> qui enrobe l'armature. Déposé en couche mince, il gagne en épaisseur et en résistance peu à peu via *"une synthèse rigide du matériau de base et du dioxyde de carbone"*, explique Riu Wu, co-lauréat du concours. De quoi construire plus léger et réduire la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'air. Reste à mettre au point le matériau idéal. **B.Ro.**



# Culture Science

## 120 **Bon à savoir**

Pour la paix des ménages, mieux vaut se parler le ventre plein ; Un simple bonjour suffit à juger son interlocuteur...

## 122 **Questions / Réponses**

Pourquoi les moustiques font-ils autant de bruit ? Boire le jus d'un fruit équivaut-il à le manger ?...

## 128 **A lire / à voir**

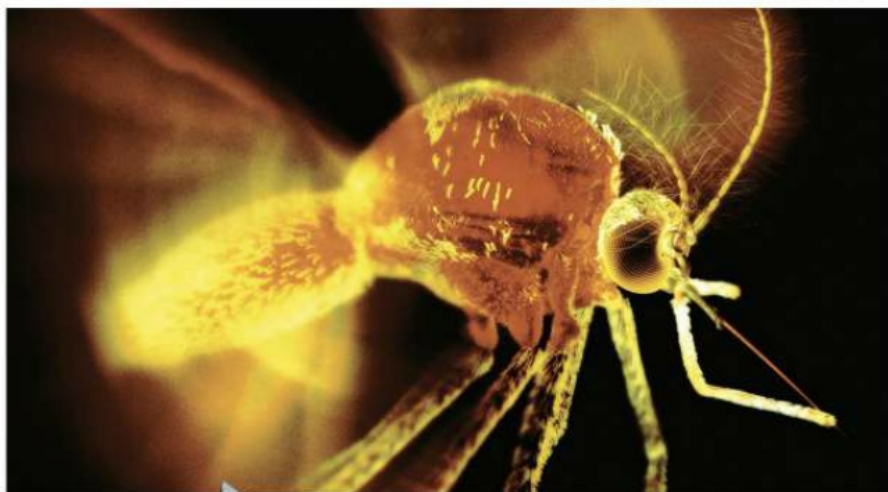
Visite guidée aux avant-postes de la cyberguerre ; *La Hulotte* sort son n° 100 ; Dans le ciel ce mois-ci : Uranus se révèle sous les feux de la Lune...

## 132 **Technofolies**

Un stylo qui corrige les fautes d'orthographe ; La voiture guidée par un drone éclairer ; Un bijou pour se protéger du soleil...

## 136 **Il y a... 85 ans**

En juin 1929, Fleming décrivait dans un article les vertus thérapeutiques d'un champignon. Il avait découvert la pénicilline.



## LE ZINC RÉDUIT LA DURÉE DU RHUME

La prise quotidienne d'un comprimé de 75 mg de zinc réduit quasiment de moitié la durée moyenne d'un rhume. Pour être efficace, le médicament doit être absorbé dans les vingt-quatre heures suivant l'apparition de la maladie. En revanche, il n'a aucun effet sur la sévérité des symptômes. "JAMA", avril 2014



## L'HOMÉOPATHIE N'A PAS PLUS D'EFFET QU'UN PLACEBO

Une analyse australienne, l'une des plus poussées jamais menées sur l'homéopathie, confirme l'inutilité des petits granules. Utilisés contre 68 problèmes de santé (insomnie, asthme, grippe...), ils ne sont pas plus efficaces qu'un placebo. "NHMRC", avril 2014

## PERDRE L'AUDITION ACCROÎT LE RISQUE DE DÉPRESSION

Chez les femmes de plus de 70 ans, la perte de l'audition quadruple la probabilité de développer une dépression. D'une manière générale, ce risque est accru chez les femmes malentendantes, mais pas chez les sourdes. "JAMA Oto.", avril 2014

# LES VICTIMES DU JET-LAG ONT DÉSORMAIS LEUR APPLI

Enfin, le décalage horaire n'est plus un cauchemar! "Entrain", une application gratuite pour smartphone élaborée par des mathématiciens américains, promet de corriger les dérèglements de l'horloge biologique en trois fois moins de temps qu'il n'en faut habituellement pour récupérer. Il suffit de renseigner le programme de sa journée en fonction de la lumière à laquelle on sera exposé (naturelle ou artificielle, intense ou faible), et le logiciel calcule l'heure optimale du lever et du coucher. Il prévoit également le moment où l'envie de dormir sera le plus intense, histoire d'éviter de fixer un rendez-vous important à cette heure-là. "PLOS Comput. Biol.", mars 2014

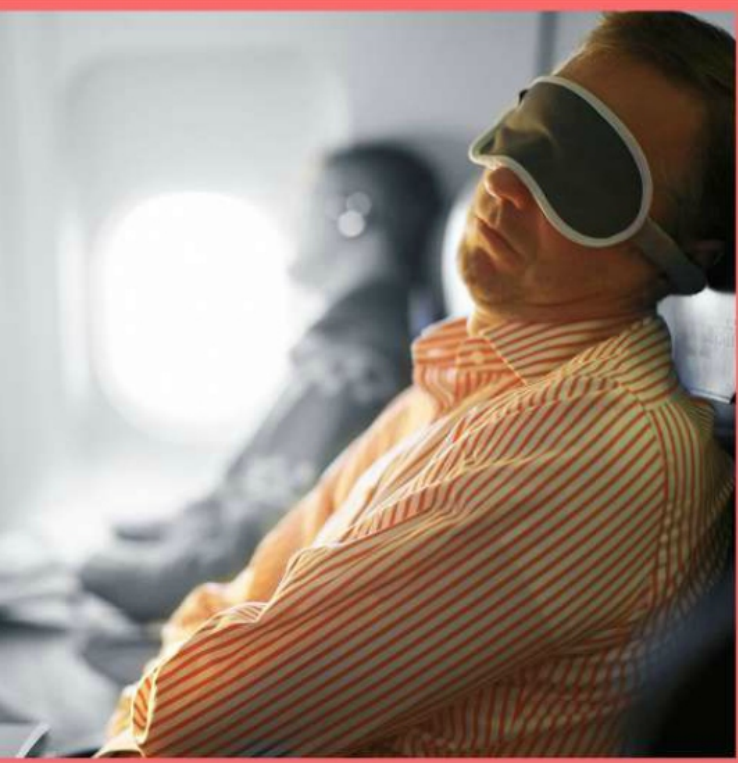


## POUR LA PAIX DES MÉNAGES, MIEUX VAUT SE PARLER LE VENTRE PLEIN

Les couples le savent, quand on a l'estomac vide, les discussions ont tendance à s'envenimer! Des chercheurs américains ont compris pourquoi: lorsque le taux de sucre dans le sang diminue, l'agressivité envers le partenaire augmente. C'est que la maîtrise de soi requiert de l'énergie... Chaque soir pendant trois semaines, la glycémie de 107 couples mariés a été mesurée et reliée à leur niveau d'irritabilité. Ce dernier était évalué à l'aide d'une poupée vaudou représentant le conjoint, que les participants pouvaient – en cachette – transpercer d'autant d'aiguilles qu'ils le désiraient. Résultat: plus la glycémie était basse, plus les aiguilles étaient nombreuses! "PNAS", avril 2014



FOTOLIA - IMAGE SOURCE/HEMIS.FR - A. BADIN/PLAINPICTURE - FOTOLIA



## UN SIMPLE BONJOUR SUFFIT À JUGER SON INTERLOCUTEUR

Il ne faut guère plus que les deux syllabes du mot "hello" pour se forger une opinion sur quelqu'un, révèle une étude menée à l'université de Glasgow, en Ecosse. Soixante-quatre étudiants ont été enregistrés en train de lire un dialogue. Le mot "hello" en a été extrait, et ses paramètres acoustiques mesurés. Les chercheurs ont ensuite fait écouter les 64 différents "hello" à 320 personnes. A partir de ces sons de moins d'une demi-seconde, les auditeurs devaient juger les locuteurs selon des critères comme l'autorité ou la fiabilité. Conclusion : les hommes à la voix grave étaient plutôt considérés comme dominants ; ceux à la voix plus haute étaient jugés plus sympathiques. Chez les femmes, l'autorité était associée aux voix aiguës, tandis qu'une intonation montante les rendait sympathiques et dignes de confiance. "Plos One", mars 2014

### BUVEZ PLUS D'EAU, C'EST BON POUR LE MORAL !

Une expérience a établi un lien entre la consommation d'eau et l'humeur. S'ils boivent moins, les grands buveurs (2,5 l par jour) sont moins en forme. A l'inverse, en buvant plus, les petits buveurs (1 l par jour) se sentent moins fatigués et moins confus. "Plos One", avril 2014

### MOINS DE PRÉMATURÉS GRÂCE AUX LOIS ANTITABAC

10 % : c'est la diminution du nombre d'accouchements prématurés dans l'année qui a suivi l'interdiction de fumer dans les lieux publics, d'après une étude sur 1,3 million de personnes en Norvège, en Belgique, en Ecosse et au Colorado. "Lancet", mars 2014

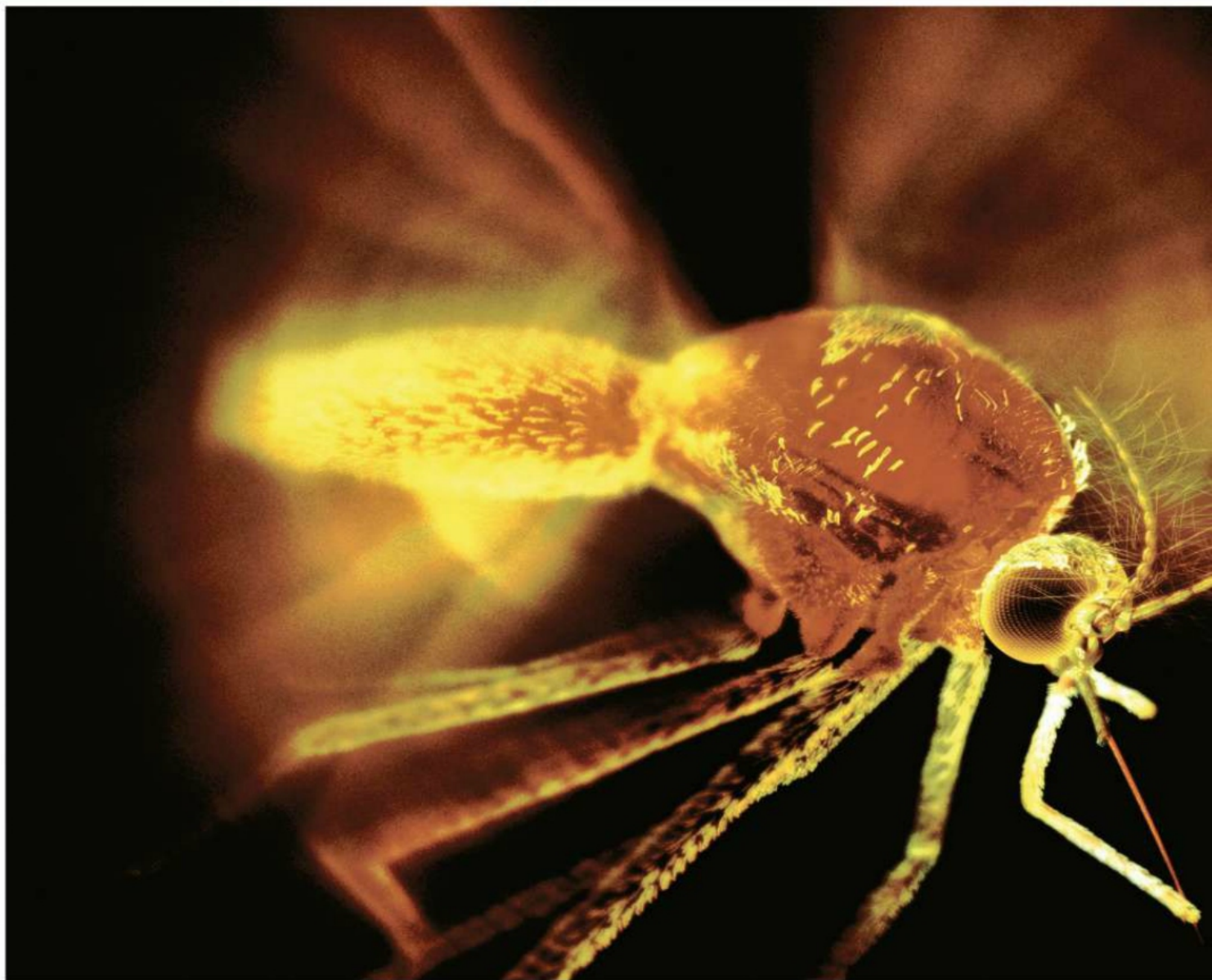
### LES JEUX VIDÉO VIOLENTS RENDENT BIEN AGRESSIF

Une étude menée pendant trois ans sur 3 000 enfants et adolescents confirme que les jeux vidéo violents entraînent des comportements agressifs, autant chez les filles que chez les garçons, et un peu plus chez les plus jeunes. "JAMA Pediatr.", mars 2014

## LA BIÈRE, MEILLEURE ALLIÉE DU BARBECUE

Faire mariner la viande dans la bière avant de la griller permettrait de diminuer les méfaits de la cuisson au barbecue. Des chercheurs ont montré que la macération réduit la teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des molécules connues pour leur toxicité qui se forment lors de la combustion du charbon. Et pour une efficacité optimale, mieux vaut privilégier la bière brune. Après cuisson, en effet, la teneur en HAP de la viande marinée à la bière brune est en moyenne de 10 nanogrammes (ng), contre 18 ng pour une marinade à la bière blonde et 21 ng sans traitement préalable de la viande. "J. Agric. Food Chem.", mars 2014





## Transpire-t-on aussi pendant une épreuve de natation ?

**Question de S. Lhery, Combs-la-Ville (77)**

Oui, même si nous ne sentons pas que nous transpirons ! Lors de tout effort, nos muscles dégagent de la chaleur, que notre corps évacue grâce à la transpiration : en s'évaporant, la sueur fait baisser notre température. Mais dans un bassin, notre sueur ne peut pas s'évaporer : notre thermorégulation devient inefficace. D'où l'importance de se baigner dans une eau à une température inférieure à celle de notre corps, pour que sa chaleur soit directement évacuée par conduction. Lors d'une épreuve de natation, l'eau sera donc à 27 °C ; pour le loisir, celle du grand bassin est à 28 °C, celle du petit à 29 °C. **M.K.**

# Pourquoi les moustiques font-ils autant de bruit ?

Question de Vincent Schellekens, Bruxelles (Belgique)

Parce que ce bruit horripilant est nécessaire à leur reproduction. Les ailes du mâle battent environ 700 fois par seconde, soit une fréquence de 700 Hz, ce qui donne à son vol un son assez sourd. Quant à la femelle, son vrombissement est de l'ordre de 480 battements par seconde, d'où un son plus aigu et lancinant. De quoi établir un véritable dialogue amoureux.

Il suffit que les deux partenaires se situent à quelques centimètres l'un de l'autre pour qu'ils entament une "parade acoustique", au cours de laquelle ils modifient la fréquence de leurs battements d'ailes. Comme

l'explique Claudio Lazzari, de l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte à Tours, *"le bourdonnement se compose d'une fréquence principale, mais le moustique peut élever cette fréquence en la multipliant par 2 ou 3 – ce qu'on appelle des harmoniques"*.

## ILS VIBRENT À L'UNISSON

Une fois qu'ils se sont trouvés, les deux partenaires accordent leurs vibrations à l'unisson. *"En présence d'un mâle, une femelle peut élever sa fréquence de battements de 480 à 1 440 Hz, indique le biologiste. Et le mâle, lui, de 710 à 1 420 Hz, afin d'être pratiquement*

*synchrone avec sa partenaire."* Lorsque leur vol est harmonisé, les partenaires ont toutes les chances de s'accoupler. Et une fois fécondée, la femelle ne réagira plus à ces stimuli.

Ce mode de communication a été découvert il y a quatre ans (on a longtemps pensé que les femelles étaient sourdes). Des scientifiques envisagent déjà de contrôler les populations de moustiques dans les pays du Sud, où ils sont vecteurs de maladies, en disséminant des mâles incapables d'ajuster le son de leurs battements afin d'éviter la synchronisation entre partenaires sexuels. **O.D.**

△ Pendant leur parade nuptiale, les moustiques peuvent élever la fréquence de leurs battements d'ailes de 480 à quelque 1 400 Hz.

# Dans un sudoku, y a-t-il un nombre minimal de cases préremplies ?

Question de G. Sonzogni, Avon (77)

Oui: 17. Ce nombre a été conjecturé par le mathématicien Gordon Royle (Ecole d'informatique d'Australie-Occidentale), qui a épluché les quelque 50 000 grilles de sudoku de sa collection personnelle. Son constat: pas une seule ne comportait 16 cases préremplies, les plus diaboliques présentant au moins 17 indices. Un constat démontré en 2012 par des mathématiciens de l'université de Dublin (Irlande), qui ont testé toutes les grilles possibles de 81 cases à 16 indices. Soit 5,4 milliards de grilles possibles, avec, pour chacune, 34 millions de milliards de combinaisons à analyser. Résultat: aucun des modèles de grilles à 16 indices n'autorise qu'une seule solution. **CQFD.** **K.J.**

# Pourquoi fait-il plus froid en altitude alors qu'on se rapproche du Soleil ?

Question de P. Robert, Sarroux (19)

On pourrait croire en effet que plus on se rapproche du Soleil, plus il réchauffe l'air. Mais ce n'est pas si simple. Comme l'explique Sébastien Léas, de Météo-France, le lien entre température et altitude change dans les 4 couches de l'atmosphère : *"Chacune possède des températures différentes selon sa composition chimique et ses caractéristiques."*

Les 12 premiers kilomètres de l'atmosphère (la

troposphère) sont chauffés par la chaleur de la Terre. Or, si l'air chaud s'élève, sa diffusion est contrée par un mécanisme plus puissant : la diminution de la pression atmosphérique avec l'altitude. Cette loi fondamentale de la thermodynamique veut que la température d'un gaz baisse avec sa pression. Ainsi fait-il  $-42,5^{\circ}\text{C}$  au sommet de l'Everest, à 8848 m !

Dans la stratosphère (entre 12 et 50 km d'altitude), la

température augmente avec l'altitude : l'action des UV sur les molécules de dioxygène produit de l'ozone qui libère de la chaleur. En haut de la stratosphère, la température atteint  $0^{\circ}\text{C}$ .

Dans la mésosphère (jusqu'à 80 km), pauvre en particules d'air, la température se remet à décroître avec l'altitude jusqu'à  $-73^{\circ}\text{C}$ , en vertu du même principe thermodynamique que dans la troposphère.

Enfin, dans la thermosphère (jusqu'à 620 km), elle remonte en flèche, de  $300^{\circ}\text{C}$  à  $1600^{\circ}\text{C}$  selon l'activité du Soleil. Cette hausse, dans une couche où l'air est très rare et la densité de matière faible, est due à l'absorption des UV de très courtes longueurs d'onde (entre 100 et 200 nm) par les molécules de dioxygène. Ce qui a pour effet d'agiter ces molécules et d'élever la température de cette couche. **K.J.**

## La salamandre résiste-t-elle vraiment au feu ?

Question de L. Schiffmann, Boulogne-Billancourt (92)

Non. Même si elle est le symbole de cet élément depuis l'Antiquité, la salamandre est incapable de résister au feu. Cette croyance, reprise dans les bestiaires médiévaux, s'explique en partie par le mode de vie de la salamandre tachetée, ou salamandre de feu. La journée, cet urodèle se niche dans le bois mort. Il est donc probable qu'autrefois les Anciens, en voyant l'animal s'échapper des bûches jetées dans le foyer, aient cru qu'il vivait là. L'autre explication est biologique. La peau de la salamandre sécrète une substance laiteuse toxique et corrosive qui empêche son dessèchement et la protège des prédateurs. Elle lui permet de supporter, momentanément, la chaleur en diminuant la combustion des braises... Mais rapidement, la salamandre succombe. **K.J.**



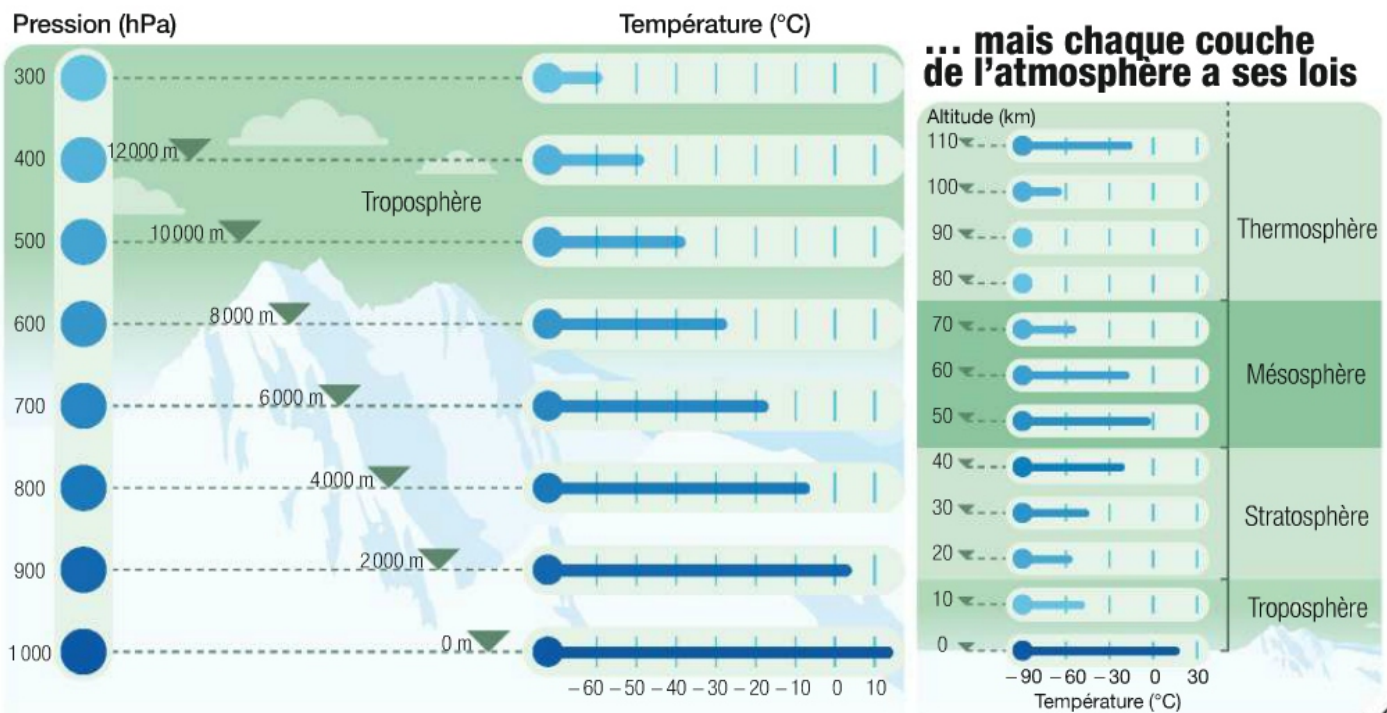
## Boire le

Question de P. Joly,

On nous l'a maintes fois répété : pour être en bonne santé, il faut consommer au moins cinq fruits et légumes par jour. Et par consommer, il faut entendre manger, et non boire leur jus. Car de l'un à l'autre, il n'y a pas d'équivalence – et ce, pour plusieurs raisons.

D'abord, parce que leur apport calorique diffère. *"On ne boit jamais le jus d'un seul fruit. Pour obtenir une ration de 120 ml de jus, il faut deux ou trois oranges. On consomme donc deux à trois fois plus de calories"*

## Avec l'altitude, la pression diminue, donc la température aussi...



# Le jus d'un fruit équivaut-il à le manger ?

Plouha (22)

en buvant un jus", indique George Bray, chef du département obésité et métabolisme au Pennington Biomedical Research Center (Etats-Unis). Et d'ailleurs, ajoute-t-il, "qui mangerait trois oranges au petit-déjeuner?". Personne, sans doute, car bien avant d'avoir mangé ces trois fruits, nous serions probablement arrivés à satiété.

"Inconsciemment, notre cerveau fait le compte des calories que nous ingérons. Du moins pour la nourriture solide. Alors que la nourriture liquide, elle, n'est pas, ou mal, comptabilisée",

explique Irène Margaritis, chef de l'unité des risques liés à la nutrition à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Lorsqu'on boit un jus de fruits, ou n'importe quelle boisson autre que de l'eau, on augmente donc, sans s'en rendre compte, son apport calorique journalier.

### ILS FAVORISENT LE DIABÈTE

Et ce n'est pas tout. "La plupart des jus de fruits sont dépourvus de fibres. D'un point de vue nutritionnel, un jus de fruits n'est donc pas non plus équivalent à un fruit", indique Irène

Margaritis. "Sans compter que les jus de fruits sont absorbés plus rapidement et conduisent à des modifications plus importantes des taux de sucre et d'insuline dans le sang, avance Qi Sun, du département de nutrition à la Harvard School of Public Health (Etats-Unis). C'est probablement ce qui explique pourquoi nous avons trouvé une corrélation entre la consommation de jus de fruits et le risque de diabète."

Dans une étude publiée au mois d'août 2013, le chercheur et son équipe ont en effet montré que si la consommation de fruits abaissait de 1 à 26 % (en

fonction du type de fruit considéré) le risque de diabète, la consommation de jus de fruits, en revanche, augmentait ce risque de 8 %. Et encore, reconnaît le chercheur, "nous n'avons pas demandé quel type de jus était consommé. Et il est probable que le risque soit plus grand lorsqu'il s'agit de jus de fruits contenant des sucres ajoutés".

Car, faut-il le rappeler, il y a jus et jus. Et si les purs jus ne sont constitués que de fruits, les nectars, eux, contiennent en plus de l'eau et du sucre. Ils sont donc probablement tout aussi néfastes pour la santé que les sodas tant décriés. C.H.

# Qu'est-ce qui rend les kakis si astringents ?

Question de A. Vernhet, Lédats (47)

La sensation d'assèchement dans la bouche que provoque la consommation de ce fruit riche en sucre et en vitamine C venu d'Asie est due à sa forte teneur en tanins solubles. Présents dans la chair et la peau du kaki, ces tanins "*permettent au fruit de se protéger des agressions extérieures, notamment des parasites*", explique Claudine Manach, de l'Institut national de la recherche agronomique. Résultat : quand on mange un

kaki pas tout à fait mûr, les tanins qu'il contient réagissent avec les protéines de la salive. C'est cette réaction chimique qui entraîne la crispation des muqueuses buccales, et donc la sensation d'astringence. Cela se traduit par une impression de rugosité dans la bouche, bien connue des amateurs de vin.

Mieux vaut attendre que le kaki soit mou pour le déguster, car l'astringence

disparaît à maturation. Les tanins deviennent alors insolubles : ils ne peuvent plus se mélanger à la salive. Différents traitements existent

pour diminuer l'astringence du fruit après la récolte, mais il existe surtout des variétés plus douces à la peau sombre. L.G.



^ Les tanins du kaki se dissolvent dans la salive, crispant les muqueuses buccales.

## Pourquoi le crissement d'une craie sur un tableau perce-t-il les oreilles ?

Question de A. Rigaud, Albon (07)

Pour deux raisons physiologiques. D'abord, parce qu'un tel bruit se produit dans les fréquences auxquelles l'oreille humaine est la plus sensible, soit entre 2000 et 4000 Hz. Ensuite, parce qu'il est à la fois très intense et trop bref pour que l'oreille ait le temps de déclencher un réflexe de protection, dit "stapédien".

Ce réflexe fait normalement se contracter un petit muscle de l'oreille, dit de l'étrier (ou stapes), quand un son dépasse 80 décibels. Or, le crissement d'une craie sur un tableau peut

atteindre 100 dB – quand le seuil de la douleur est, lui, de 120 dB. Le réflexe stapédien, qui vise à atténuer le bruit avant son entrée dans l'oreille interne, afin d'éviter d'éventuels dégâts, devrait donc intervenir...

"Sauf que le réflexe stapédien nécessite entre six et huit millisecondes pour se déclencher, alors que le crissement de la craie est un bruit impulsionnel très court, de quatre à cinq millisecondes. Il atteint donc l'oreille interne avant que le mécanisme protecteur n'ait le temps de se mettre en

place", explique Christian Dubreuil, chirurgien ORL au centre hospitalier Lyon Sud. Qui détaille : "*Le son impulsionnel arrive directement à l'oreille interne, puis au cerveau, ce qui engendre une douleur ou une sensation très désagréable.*"

Pour Arnaud Deveze, chirurgien et maître de conférences à l'hôpital universitaire Nord de Marseille, il y aurait également une autre explication, psychologique celle-ci : "*Face à un bruit inattendu et chaotique, comme celui d'une craie sur un tableau, le corps humain réagit d'une façon émotionnelle et se contracte afin de le rejeter.*" L.P.C.

GAGNEZ UN  
ABONNEMENT  
D'UN AN À

SCIENCE & VIE

Cette rubrique est la vôtre,  
écrivez-nous !

Nous ne pourrions répondre à toutes et à tous, mais les auteurs des questions que la rédaction sélectionnera se verront offrir un abonnement d'un an à Science & Vie (pour eux-mêmes ou une personne de leur choix).

Vous pouvez nous envoyer vos questions à :  
[sev.gr@mondadori.fr](mailto:sev.gr@mondadori.fr)  
ou bien par courrier à :

SCIENCE & VIE  
QUESTIONS/RÉPONSES

8, rue François-Cory  
92543 MONTRouGE CEDEX

V.TARVELA/FOTOLIA

# Spécial Fête des Pères / Fête des Mères

## 12 magazines à prix coup de cœur !

Offre réservée aux lecteurs de **Science & Vie**

jusqu'à  
**-42%\***  
Profitez-en vite !  
\* sur le prix kiosque



**-18%**

Le plaisir de l'automobile ancienne à la portée de tous

**6 n° pour 19€**  
au lieu de 23,40€  
soit 3,17€ le n° au lieu de 3,90€



**-41%**

Le premier journal qui se met à la place du conducteur.

**25 n° pour 29€**  
au lieu de 49,75€  
soit 1,16€ le n° au lieu de 1,99€



**-12%**

Fournisseur officiel d'adrénaline depuis 1962

**6 n° pour 29€**  
au lieu de 33€  
soit 4,83€ le n° au lieu de 5,50€



**-30%**

Un voyage inédit au cœur des splendeurs et mystères du passé

**8 n° pour 33€**  
au lieu de 47,80€  
soit 4,13€ le n° au lieu de 5,98€



**-24%**

Le magazine des passionnés d'histoire et de stratégies militaires

**6 n° pour 27€**  
au lieu de 35,70€  
soit 4,50€ le n° au lieu de 5,95€



**0,66€ LE N°**

Le magazine télé de toute la famille !

**45 n° pour 29,90€**  
au lieu de 45€  
soit 0,66€ le n° au lieu de 1€



**-39%**

Une foule d'idées et de conseils déclencheurs de créativité !

**12 n° pour 16€**  
au lieu de 26,40€  
soit 1,33€ le n° au lieu de 2,20€



**-40%**

Le numéro 1 des magazines de santé

**12 n° pour 20€**  
au lieu de 33,60€  
soit 1,67€ le n° au lieu de 2,80€



**-42%**

Le magazine de la forme et du bien-être

**6 n° pour 12€**  
au lieu de 21€  
soit 2€ le n° au lieu de 3,50€



**-34%**

Beaucoup plus que des recettes !

**6 n° pour 14,90€**  
au lieu de 22,80€  
soit 2,48€ le n° au lieu de 3,80€



**-29%**

Le + pratique et le + complet des mensuels de jardinage

**6 n° pour 19€**  
au lieu de 27€  
soit 3,17€ le n° au lieu de 4,50€



**-24%**

Il a du chic, il est unique, c'est mon basic !

**9 n° pour 11,50€**  
au lieu de 15,30€  
soit 1,28€ le n° au lieu de 1,70€

### BULLETIN D'ABONNEMENT FÊTE DES PÈRES / FÊTE DES MÈRES

A compléter et à retourner à : Service Abonnements - Opération Multititres - CS 50273 - 27092 EVREUX Cedex 9

1 Je choisis mes abonnements et je coche les cases ci-dessous.

Magazine	Réf.	Durée de l'abonnement	Prix normal au numéro	Mon prix	Ma réduction
<input type="checkbox"/> Auto Plus Classiques	58	1 an - 6 n°	23,40 €	19 €	- 18%
<input type="checkbox"/> Auto Plus	40	25 numéros	49,75 €	29 €	- 41%
<input type="checkbox"/> Sport Auto	41	6 numéros	33,00 €	29 €	- 12%
<input type="checkbox"/> Cahier de Science & Vie	36	8 numéros	47,80 €	33 €	- 30%
<input type="checkbox"/> Guerres & Histoire	37	1 an - 6 n°	35,70 €	27 €	- 24%
<input type="checkbox"/> Télé Poche	50	45 numéros	45,00 €	29,90 €	0,66€ le N°
<input type="checkbox"/> Modes et Travaux	12	1 an - 12 n°	26,40 €	16 €	- 39%
<input type="checkbox"/> Top Santé	13	1 an - 12 n°	33,60 €	20 €	- 40%
<input type="checkbox"/> Vital	61	1 an - 6 n°	21,00 €	12 €	- 42%
<input type="checkbox"/> 750g le mag	62	1 an - 6 n°	22,80 €	14,90 €	- 34%
<input type="checkbox"/> L'Ami des jardins	10	6 numéros	27,00 €	19 €	- 29%
<input type="checkbox"/> Biba Poche	16	9 numéros	15,30 €	11,50 €	- 24%
Nbres total d'abonnements			TOTAL DE MA COMMANDE		

2 Adresse(s) de livraison des abonnements : merci d'écrire en majuscule. 786.228

Mes coordonnées (à remplir obligatoirement). Réf. des magazines :

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

Coordonnées pour la réception des magazines. Réf. des magazines :

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

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

3 Mon règlement. Le montant total de ma commande est de : \_\_\_\_\_ €

☐ Je règle par chèque ci-joint à l'ordre de Mondadori Magazines France.

☐ Je règle par carte bancaire N° \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_  
Signature (obligatoire) : \_\_\_\_\_

Expire le \_\_\_\_\_

Notez les 3 derniers chiffres du N° inscrit au dos de votre carte bancaire \_\_\_\_\_

Offre valable 2 mois en France métropolitaine. En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Mondadori Magazines France. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. En cas de refus de votre part, il vous suffit de nous prévenir par simple courrier.

**EXCLUSIVITÉ INTERNET !**  
à partir de 2 abonnements  
souscrits en ligne

**-10%**  
supplémentaires

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

Webdocumentaire *Netwars/Out of CTRL*

# Visite guidée aux avant-postes de la cyberguerre

*"Bonjour, l'ami. Fais-moi confiance, nous serons amis quand tout cela sera terminé."* Tel est l'accueil qu'un trentenaire, cravate et costume impeccables, réserve à l'internaute au premier épisode de *Netwars/Out of CTRL*. Sa voix, tour à tour enjouée, exaltée ou menaçante, et son sourire inamovible accompagnent les cinq épisodes de ce webdocumentaire publié sur le site de la chaîne Arte, qui offre une introduction intelligente et spectaculaire aux arcanes sombres d'Internet.

Alors que le réseau mondial est devenu un théâtre de conflits où s'inventent de nouvelles lois de la guerre (voir *S&V* n° 1159, p. 72), ce documentaire d'un nouveau genre propose d'en visiter le front, guidé par l'incarnation moderne de Big Brother.

Car très vite, l'acteur (Nikolai Kinski) sème le trouble. Par le regard d'abord, un tantinet inquisiteur. Et par un ton qui explique autant qu'il ne laisse aucun choix : voilà ce qui adviendra, voilà ce qui est déjà en train d'advenir. Quoi ? La cyberguerre. Celle que se mènent les Etats sur

le terrain virtuel ; celle à laquelle prennent aussi part entreprises, hackers, ONG, terroristes, et qui, de gré ou de force, concerne quiconque utilise Internet, soit les trois quarts des habitants des pays développés.

Car, en 2014, l'internaute est à la fois une victime et un soldat en puissance. Les protocoles et les outils classiques du Net – navigateur, messagerie, réseaux sociaux,

contrepoints du propos du fil rouge de Nikolai Kinski et de très nombreuses interviews d'experts (militaires, universitaires, hackers, juristes...), sont proposées diverses épreuves.

En premier lieu, un quiz sur la sécurité des réseaux, qui démontre vite qu'en matière de navigation et de sécurité en ligne, chacun a fort à apprendre. Cette formalité passée, place au spectacle...



△ Des agents se mêlent aux réseaux sociaux sous de faux noms.

services en ligne (banque, commerce, administration...) peuvent se transformer en armes ; nombre d'activités et d'infrastructures étant reliées entre elles par le réseau des réseaux. En

nourri aux faits établis et aux données en temps réel.

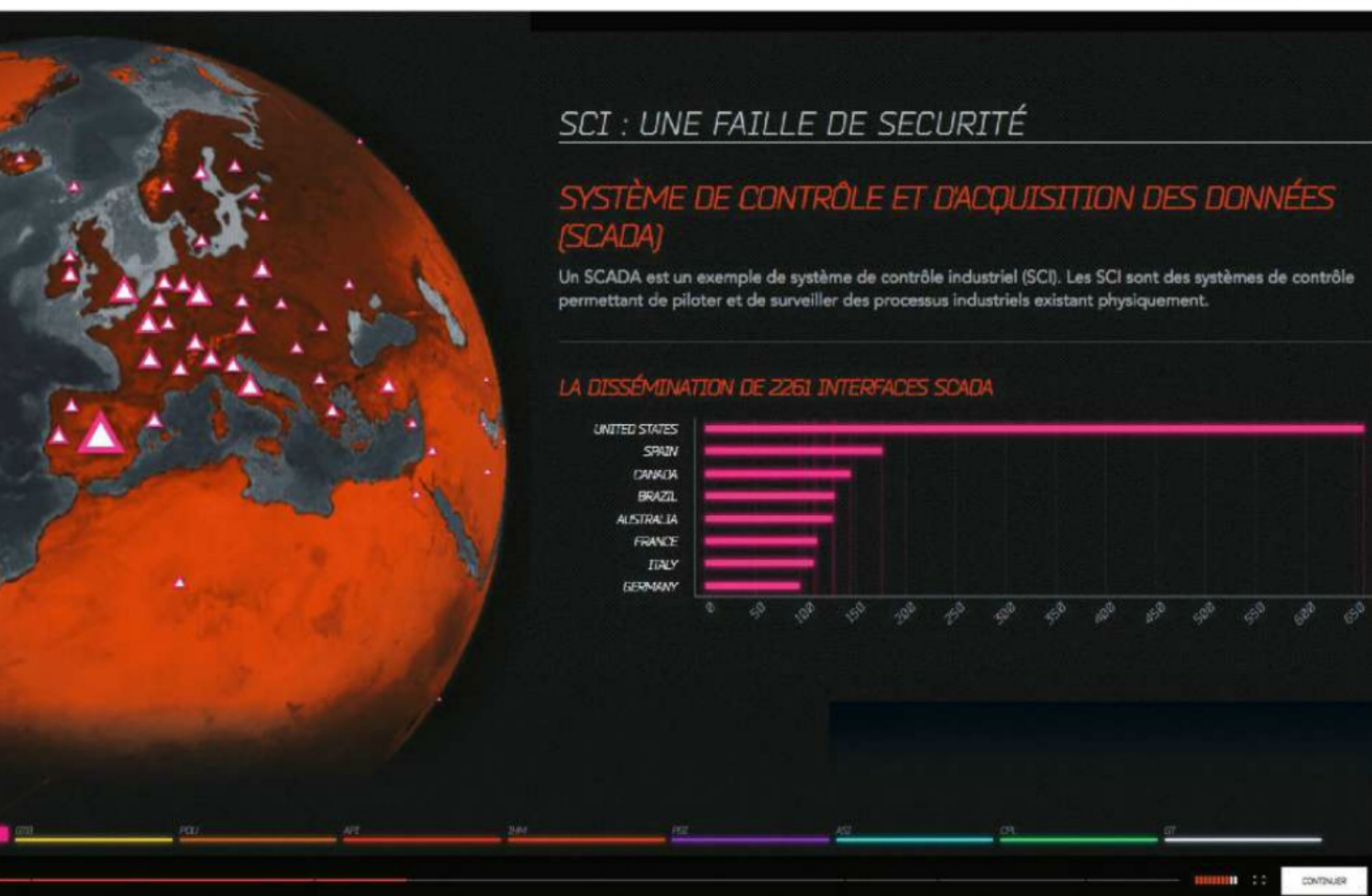
Différents types d'attaques de réseaux mondiaux apparaissent alors en cartographies animées. Virus, chevaux de Troie, "dénis de

Des milliers de systèmes de contrôle industriels, recensés sur cette carte interactive, sont piratables par Internet.

service"... la bataille fait rage. Pur spectacle ? Cela pourrait effectivement en rester là. Mais, au fil des épisodes, d'autres "modules" révèlent la vulnérabilité même de l'ordinateur utilisé pour explorer le webdocumentaire. Ce dernier permet ainsi à chacun de voir par quelles portes sa machine et ses usages le mettent en contact avec les soubresauts du monde virtuel.

Suivant la configuration et la connexion du visiteur, s'affichent localisation géographique, nature du système d'exploitation et du matériel informatique, sites





△ L'acteur Nikolai Kinski parodie un serment de deux hauts responsables du renseignement américain.

visités, profils sur les réseaux sociaux... Elle a beau s'inscrire dans un monde virtuel, notre vulnérabilité d'utilisateur est réelle !

Quels sont les risques ? Ils sont nombreux. Usurpa-

tion d'identité, vol sur les comptes bancaires, utilisation de l'ordinateur à l'insu de son possesseur...

Et les moyens de riposte aussi. *Netwars/Out of CTRL* en présente la facette lucra-

tive – les entreprises tirant profit de la sécurisation des activités en ligne. Mais l'internaute peut aussi compter sur des outils gratuits... qu'il trouvera sur le site du webdocumentaire. **F.L.**

### Et aussi...

La société allemande productrice de *Netwars/Out of CTRL*, Filmtank GmbH, conseillée par Sandro Gaycken, chercheur à l'Institut des sciences informatiques de Berlin, propose, en parallèle du webdocumentaire, une **série télé**, diffusée prochainement, **un roman graphique numérique, un livre électronique et un livre audio, *The code***, fiction née de l'imagination d'un hacker désormais employé par le gouvernement allemand.

► Le webdocumentaire  
<http://future.arte.tv/fr/netwars>

► Le site associé  
<http://www.netwars-project.com/>

► **Soigner sa tête sans médicaments... ou presque**

► Patrick Lemoine

► Editions Robert Laffont, 2014

► 21 €



Médecin spécialiste des neurosciences et de l'effet placebo, Patrick Lemoine décrit les principales thérapies et méthodes qui limitent le recours aux psychotropes en cas de stress, d'insomnie ou de dépression, et les classe selon leur niveau de validation scientifique. Une initiative qui tombe à pic alors que les ventes de benzodiazépines (Stilnox, Xanax...) repartent à la hausse en France. Si l'Anses prévoit d'encadrer plus sévèrement les prescriptions, demander aux patients de se passer de cachets implique de leur proposer des alternatives efficaces. C'est chose faite avec cet ouvrage. **C.T.**

► **Tour du monde des concepts**

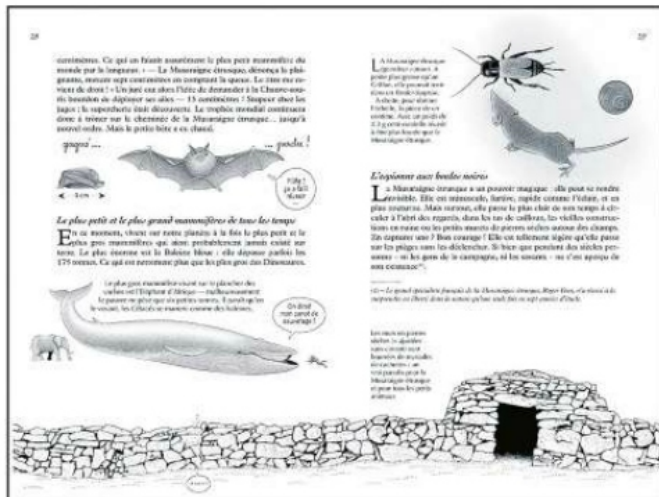
► Sous la direction de Pierre Legendre

► Editions Fayard, 2014

► 23 €



L'idée est simple : étudier la façon dont 9 langues non occidentales définissent 9 concepts. Comment le japonais, le chinois, l'arabe, le persan, l'hindi, le russe, le turc et les langues africaines du Burkina Faso et du Gabon expriment-ils la danse, le corps, l'Etat, le contrat, la loi, la religion, la nature, la société et la vérité ? Chaque entrée révèle des univers mentaux inattendus pour des notions qu'on pourrait croire "universelles"... Une approche originale de la diversité de la pensée humaine, qui fait comprendre pourquoi, à Paris, Pékin ou Ouagadougou, nous n'avons pas la même chose en tête quand nous évoquons des idées *a priori* semblables. **E.R.**



► **La Hulotte, n° 100**

► Pierre Déom

► Editions Passerage

► **Abonnement (6 numéros): 25 €**

## La vie des bêtes et des plantes croquée par un passionné

C'est une espèce rare. Un drôle d'animal qui ne sort que deux fois par an – impossible de prévoir quand précisément. On le trouve dans quelque 150 000 tanières, dans pas moins de 70 pays. De quoi rendre jaloux tous ses concurrents...

Le numéro 100 de *La Hulotte*, cet ovni journalistique "irrégulomadaire" sans publicité, diffusé uniquement sur abonnement, a été publié à l'automne 2013 avec, en bonus, la réédition de ses cinq premiers numéros.

Voilà maintenant plus de quarante ans que cette revue naturaliste, qui n'était au départ qu'un bulletin de liaison entre les clubs de protection de la nature des Ardennes, réjouit novices et spécialistes. Des écoles primaires au Muséum d'histoire naturelle de Paris, nombreux sont ceux qui attendent fébrilement

sa parution. Et pour cause : cette revue nous raconte la vie des bêtes et des plantes, en textes et en dessins, avec une grande rigueur scientifique mais toujours beaucoup d'humour. Une formation permanente pour les naturalistes professionnels ; un divertissement instructif pour les néophytes.

### LECTEURS RESPONSABLES

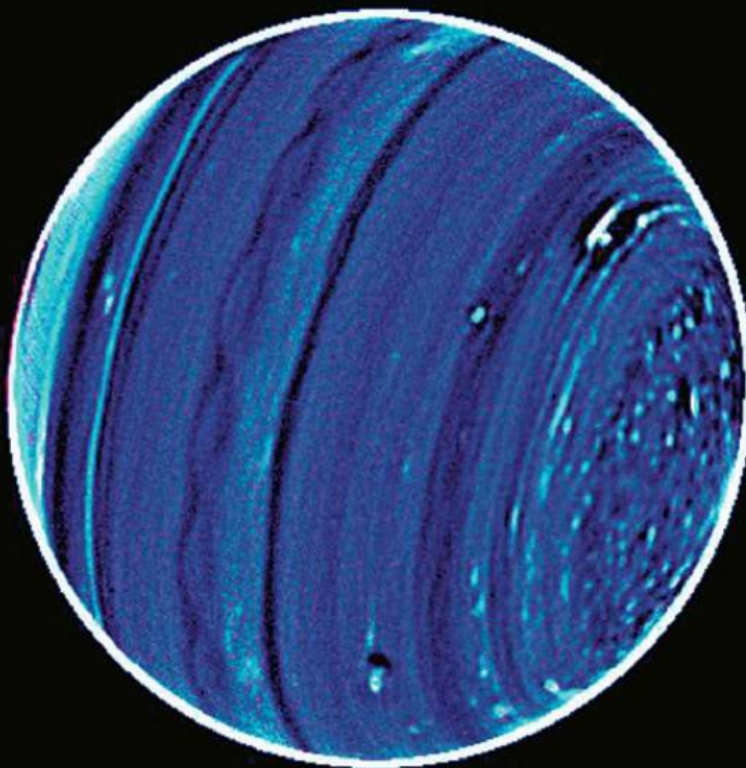
Derrière ce journal se cache un autre animal, un bipède amoureux de la nature, qui passe en moyenne mille heures sur chaque nouvelle revue. "*Je me documente en premier lieu avec les publications scientifiques, mais je passe aussi beaucoup d'heures sur le terrain. Pour les deux numéros sur les toiles d'araignées, plus de 80 % des informations provenaient de mes observations*", précise Pierre Déom, 65 ans, fondateur

et unique rédacteur de la revue. Pour cet ancien instituteur, qui loue l'inventivité des araignées et la rusticité du lierre, l'objectif est de "*pousser les lecteurs à chausser leurs bottes et les rendre conscients de l'incroyable diversité et richesse des espèces qui nous entourent*".

Car il y a urgence, et Pierre Déom le sait mieux que quiconque, lui qui observe méticuleusement la nature depuis 1972, l'année du premier numéro de *La Hulotte*: "*Malgré quelques bonnes nouvelles, comme le retour du faucon pèlerin, du grand-duc ou du loup, la nature se dégrade à vue d'œil*".

Le "syndicat général des grenouilles rousses" implorait déjà le reporter du troisième numéro de *La Hulotte* d'arrêter leur extermination. La pie espionne ne dit pas autre chose dans le numéro 100, lorsqu'elle décrit une scène ordinaire dans la vie des martins-pêcheurs, dont la couvée est entièrement détruite par un visiteur humain, installé un peu trop près du nid... **L.B.**

## Dans le ciel ce mois-ci



^ Cette image exceptionnelle d'Uranus a été prise en 2013 par le télescope Keck d'Hawaï.

# Uranus se révèle sous les feux de la Lune

Ce 21 juin à l'aube, la très discrète planète Uranus sera – c'est très rare – facile à voir, puisque c'est la Lune qui servira de flèche lumineuse... La septième planète du système solaire se trouvera juste sous le croissant lunaire, et sera observable avec des jumelles ou un petit instrument astronomique. Invisible à l'œil nu, Uranus a été découverte par hasard en 1781 – beaucoup plus tard que les cinq planètes "classiques", Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne – par l'astronome anglais William Herschel. Deux siècles durant, cette planète gazeuse, bien plus petite que Jupiter et Saturne, est demeurée méconnue. Distant de près de 3 milliards de kilomètres, elle ne laissait rien voir de sa surface... Et lorsqu'en 1986 *Voyager 2* est passée tout près d'elle,

quelle déception ! La sonde, en effet, n'a rien vu qu'un énorme globe bleu, entièrement recouvert d'une couche de brume uniforme. Paradoxalement, c'est un télescope terrestre qui a fini par découvrir la météorologie riche et complexe d'Uranus, avec ses tempêtes soufflant à 900 km/h. L'image ci-dessus est, de loin, la meilleure jamais prise. Elle a été réalisée en 2013 à l'aide du télescope de 10 m de diamètre Keck, installé à Hawaï, d'une caméra infrarouge et d'une optique adaptative.

Pour observer Uranus, en fin de nuit et à l'aube, pointez des jumelles sur la Lune. Uranus est visible juste sous le croissant lunaire. Avec une lunette ou un télescope grossissant de 100 x à 400 x, la planète se révélera comme un minuscule et pâle disque bleuté. **S.B.**

### ► Quand ?

Le 21 juin, en fin de nuit, au-dessus de l'horizon est.

### ► Comment ?

Une lunette de 100 mm, grossissant 100 fois.

► Où ? Dans la constellation des Poissons.



**France info** Retrouvez la chronique "Du côté des étoiles" sur France Info

tous les samedis et sur [www.france-info.com](http://www.france-info.com)

# Le stylo qui corrige vos fautes d'orthographe

Lettres de motivation ou courriers officiels bourrés de fautes appartiennent peut-être au passé ! La société munichoise Lernstift ("stylo d'apprentissage" en allemand) vient de développer un stylo à bille rechargeable, capable de repérer vos erreurs ou vos lettres mal dessinées. Baptisé VibeWrite Learning Pen, ce stylo n'a pas besoin d'être raccordé à un PC (sauf pour les mises à jour), il intègre sa propre base de données. A partir de ces infor-

mations, il propose deux modes correctifs. Appelé "Calligraphie", le premier alerte lorsqu'une lettre est mal écrite. Le second, dénommé "Orthographe", fait vibrer le stylo : une fois pour une faute sur un mot, deux fois pour une phrase grammaticalement incorrecte. Pour analyser votre écriture, sa coque en plastique cache des éléments similaires à ceux des smartphones : un système d'exploitation Linux, un processeur et différents capteurs

(gyroscope, accéléromètre). Ces derniers analysent les mouvements et les formes spécifiques des lettres et des mots afin de retranscrire l'écriture manuscrite. Pour l'instant, la première version de ce stylo ne reconnaît que 100 mots (d'anglais), ce qui est encore très peu. Mais, d'ici à la fin de l'année, une seconde version en repérera 5 000. En outre, d'autres langues, dont le français, sont déjà envisagées. **Ph.R.**

Prix : à partir de 90 € env.  
Rens. : <http://vibewrite.com>

Capteur qui analyse les mouvements de la main



▼ Cette mallette se déploie en un clin d'œil en trottinette électrique capable de rouler à 20 km/h.



## Une mallette qui se mue en trottinette

Ceci n'est pas une mallette ordinaire. Non seulement elle contient vos effets personnels, mais elle se déploie en quelques secondes pour devenir une valise à roulettes et, mieux encore, une trottinette électrique. C'est la société américaine Green Energy Motors Corp qui est à l'origine de cet ensemble compact et transportable. En mode trottinette, le pilote se tient debout grâce à des marchepieds prévus à cet effet. Ce moyen de transport alternatif, qui pèse 12 kg, supporte une charge totale de 125 kg et peut rouler à 20 km/h. Idéal pour les trajets courts reliant le domicile ou le lieu de travail avec la station de bus ou de métro, ou pour se déplacer dans les zones urbaines fortement sujettes aux embouteillages. La batterie embarquée permet de parcourir 40 km et se recharge entièrement en une heure. **M.S.**

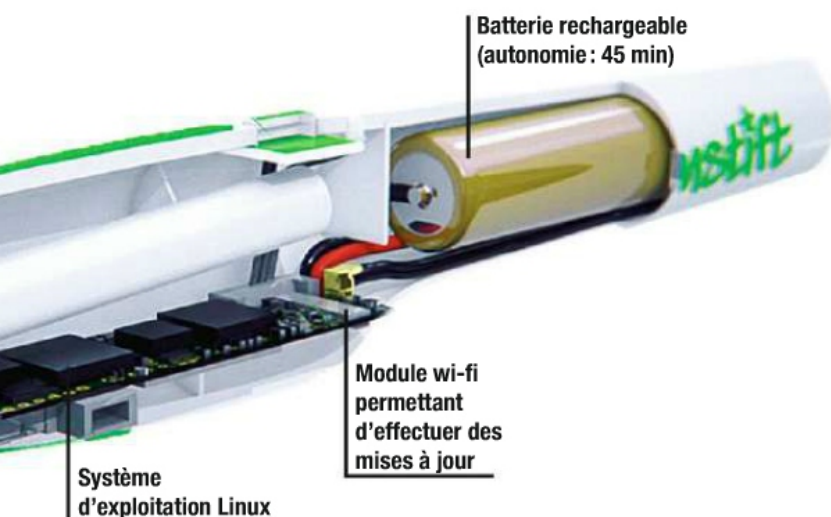
Prix : env. 4 300 €, 50 % de réduction actuellement.  
Rens. : <http://greenenergymotors.com>

## LE COIN DES PROTOTYPES

## La voiture guidée par un drone éclairé

Le Kwid de Renault est le premier concept car embarquant un drone quadrirotor, sorte d'éclaireur volant. En mode automatique, le drone décolle, utilise les coordonnées GPS pour survoler la route puis revient tout seul. En mode manuel, le passager du véhicule le contrôle depuis une tablette intégrée sur le tableau de bord. Le but de ce drone est d'informer sur le trafic, détecter des obstacles sur la route, ou encore de prendre des photos du paysage. Autres originalités : la voiture possède des portes papillons et trois places à l'avant avec le conducteur au milieu. Doté d'un moteur turbocompressé à essence (1,2 l) couplé à une boîte de vitesses à double embrayage EDC, ce SUV pourrait aussi recevoir des batteries pour une utilisation 100 % électrique.

J.J.

Rens : [www.renault.com](http://www.renault.com)

## Un bijou pour vous protéger du soleil

Il se présente sous la forme d'un bracelet, plutôt élégant. Mais ce bijou cache des capteurs d'ultraviolets (UVA et UVB) chargés d'évaluer la quantité d'UV auxquels vous êtes exposé chaque jour. June, de la société française Netatmo, communique directement ses mesures à votre iPhone (seul smartphone compatible pour l'instant avec ce bracelet) via une connexion Bluetooth. L'application dé-

diée affiche alors à l'écran l'indice UV (de 1 à 10), la dose de soleil reçue en fonction de son type de peau et de la durée d'exposition (100 % étant équivalent au coup de soleil) ainsi que l'indice de protection à choisir pour sa crème solaire. Le bracelet renferme aussi une batterie lithium-ion pour fonctionner en continu pendant un mois.

L.B.

Prix : env. 95 €. Rens : [www.netatmo.com](http://www.netatmo.com)

✓ Au poignet, le bracelet capte la quantité d'UV que vous recevez, et communique les résultats à votre smartphone via Bluetooth.



# La chaussure de foot qui fait corps avec le pied

La Nike Magista est une nouvelle chaussure de foot qui se compose de deux couches. La première, la couche interne, est tricotée avec un unique fil, si bien qu'elle s'ajuste aux pieds comme une chaussette, ce qui permet de gagner en confort.

Tandis que la seconde, ex-

térieure, est constituée d'un revêtement troué qui rend la chaussure légère (205 g), tout en facilitant l'adhésion du ballon et le "toucher". **S.F.**

Prix : env. 280 €. Rens : [www.nike.com/us/c/football/magista](http://www.nike.com/us/c/football/magista)



## Une clé pour voir le Web sur la télé

Regarder des vidéos issues d'Internet sur son écran de téléviseur, en pilotant le tout avec son smartphone ou sa tablette... c'est ce que permet Chromecast, une petite clé wi-fi de 34 grammes lancée par Google. Son fonctionnement est simple, il suffit de connecter la clé à l'un des ports HDMI de votre télé ainsi qu'au secteur ou à une prise USB pour l'alimenter, puis d'associer matériel et écran par le biais d'une application dédiée. Avantage du système : il est possible de continuer à utiliser son matériel (tablette, ordinateur, smartphone) en parallèle sans rompre la diffusion sur le téléviseur. Un bémol, en revanche : le nombre d'applications compatibles (YouTube, Google Play Films, France TV Pluzz...) est pour l'instant très limité.

**E.T.-A.**

Prix : env. 35 € (compatible Android 2.3, iOS 6.0, Windows 7, Mac OS 10.7 ou Chrome OS).

Rens : [www.google.com/chromecast](http://www.google.com/chromecast)



## Un pot aux petits soins avec vos plantes

Inutile de surveiller vos plantes ou de laisser les clés aux voisins pour les arroser en votre absence grâce à ce pot conçu par la société française Meg Corp. Sous sa coque de 40 cm en polypropylène, résistant aux UV, se dissimulent des capteurs qui analysent l'humidité de la terre, la température et la luminosité. Quand la plante a soif, le système prélève automatiquement sur sa réserve d'eau une fraction des 4 litres (autonomie d'un mois). Ce n'est pas tout... Six LED clignotantes alertent en cas de risque de gel, ou si la luminosité est insuffisante. Une notification est aussi

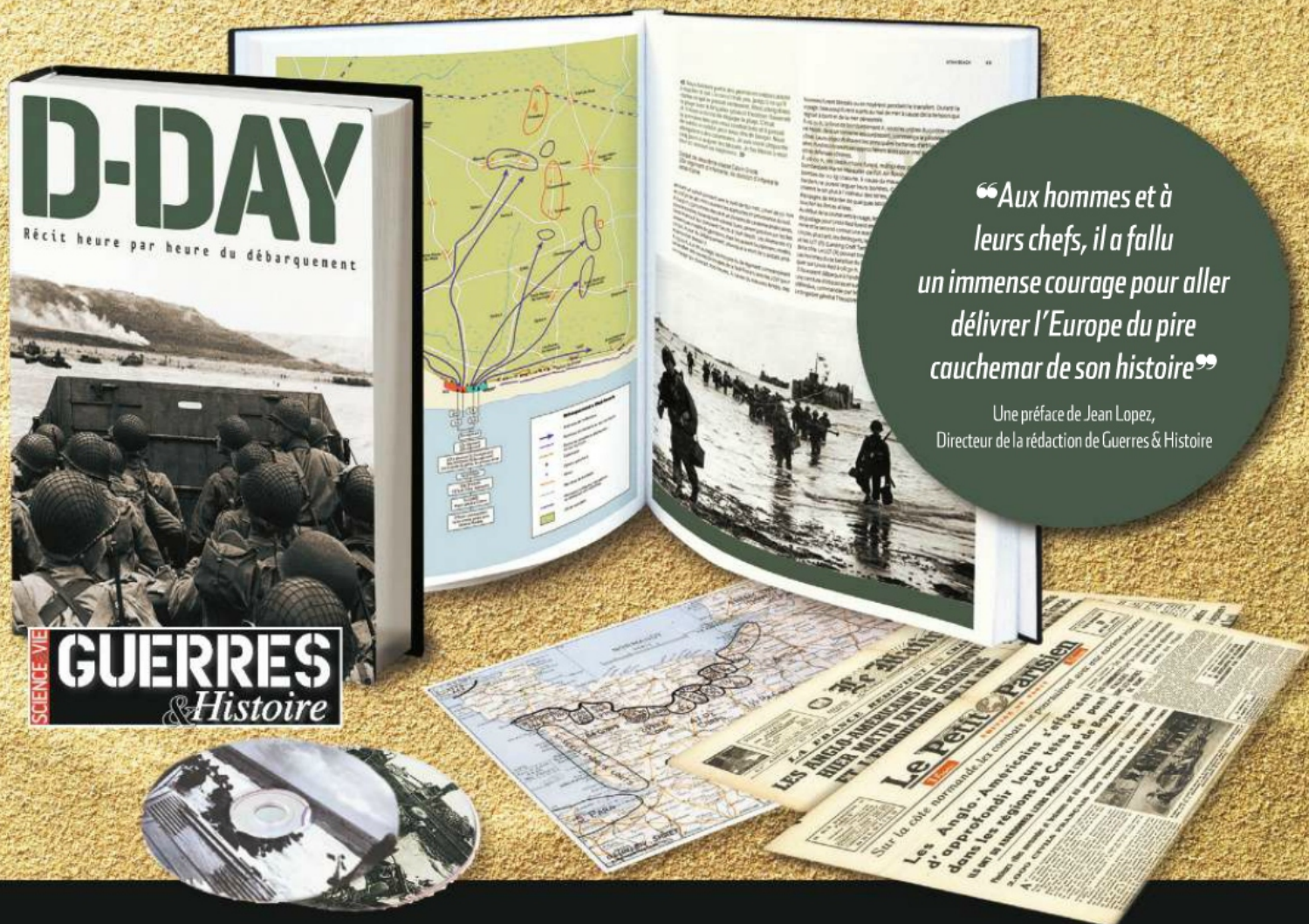
envoyée via Bluetooth sur votre smartphone. L'application permet également de recevoir les prévisions météo et de programmer des ambiances lumineuses pour utiliser son pot comme une simple lampe. Ses batteries rechargeables lui permettent de tenir un mois en régime normal et une vingtaine d'heures avec sa lumière à pleine puissance. **G.S.**

Prix : env. 200 €. Rens : [www.meg-live.com](http://www.meg-live.com)



EXCEPTIONNEL

# D-DAY disponible le 2 juin à la Fnac !



“Aux hommes et à leurs chefs, il a fallu un immense courage pour aller délivrer l’Europe du pire cauchemar de son histoire”

Une préface de Jean Lopez,  
Directeur de la rédaction de Guerres & Histoire

- **UN LIVRE EXCEPTIONNEL DE 144 PAGES ET DE PLUS D’UNE CENTAINE D’IMAGES** réalisé en partenariat avec Guerres & Histoire, incluant des clichés mythiques de Robert Capa, les témoignages de Léon Gautier, du commando Kieffer et de Jake Mc Niece, connu sous le nom de 13<sup>e</sup> salopard.
- **2 DVD** : *La Lumière de l’aube*, un film de Jean-Christophe Rose sur les coulisses du débarquement écrit avec Deborah Ford et *La bataille de Normandie* de Jean-Louis Guillaud et Henri de Turenne, réalisé par Daniel Costelle.
- **2 FAC-SIMILÉS DE UNES DE JOURNAUX D’ÉPOQUE.**
- **1 CARTE DU DÉBARQUEMENT** sur les plages de Normandie.



DISPONIBLE **EN EXCLUSIVITÉ** À LA FNAC AU RAYON DVD  
ET SUR LE SITE [www.fnac.com](http://www.fnac.com)

Juin 1929

# La découverte de la pénicilline par Fleming

Une découverte amusante, mais quel intérêt? Les lecteurs du *British Journal of Experimental Pathology* qui parcourent, en juin 1929, l'article de 13 pages d'Alexander Fleming peinent à y voir les prémices d'une révolution médicale. Non pas que l'auteur soit un inconnu: à 47 ans, Fleming est le directeur assistant du département d'inoculation du St Mary's Hospital de Londres, réputé pour les vaccins qu'il développe contre toutes sortes de maladies. C'est le sujet en soi qui laisse les lecteurs de marbre.

Le chercheur écossais décrit en effet une

étrange découverte concernant les staphylocoques, ces bactéries responsables d'infections parfois mortelles.

C'était en septembre 1928. A l'époque, Fleming étudie les staphylocoques pour un ouvrage de bactériologie. A son retour de vacances, il retrouve les boîtes de Petri dans lesquelles il a mis en culture des bactéries avant l'été. L'une d'elles a été contaminée par un champignon, *Penicillium*, et une tache de moisissure s'est développée. Or, autour de cette tache, constate-t-il, les staphylocoques sont beaucoup plus rares que dans le reste de la boîte...

Fleming reconnaît tout de suite un motif familier. Et pour cause! Il a observé le même, en 1921, quand il étudiait des bactéries issues de ses propres sécrétions après un rhume. Il avait alors constaté, après sa guérison, qu'une goutte de son mucus nasal déposée dans la boîte de culture inhibait autour d'elle la croissance des bactéries. La substance restait cependant sans effet sur tous les microbes responsables des pneumonies, tuberculoses, diphtéries, tétanos, syphilis ou autres maladies qui faisaient chaque année des millions de victimes dans le monde.

Ses confrères n'avaient donc vu dans sa découverte qu'un intérêt très limité.

Ce *Penicillium* semble en revanche plus prometteur. Car il agit sur des bactéries potentiellement mortelles – streptocoques,

## SCIENCE & VIE en parlait déjà...

### 1913 LA MENACE INFECTIEUSE

Dès son premier numéro, S&V s'inquiète des microbes véhiculés par les insectes, comme cette mouche "qui circule en tous sens sur le pain". [Sur ses pattes, on] trouverait probablement les germes de la fièvre typhoïde, de la dysenterie, de la tuberculose [...]. Néanmoins vous allez manger [ce] pain". A l'époque, faute d'antibiotiques, la moindre infection peut se révéler mortelle. Faut-il "faire la guerre en grand" aux vecteurs infectieux? S&V n° 1

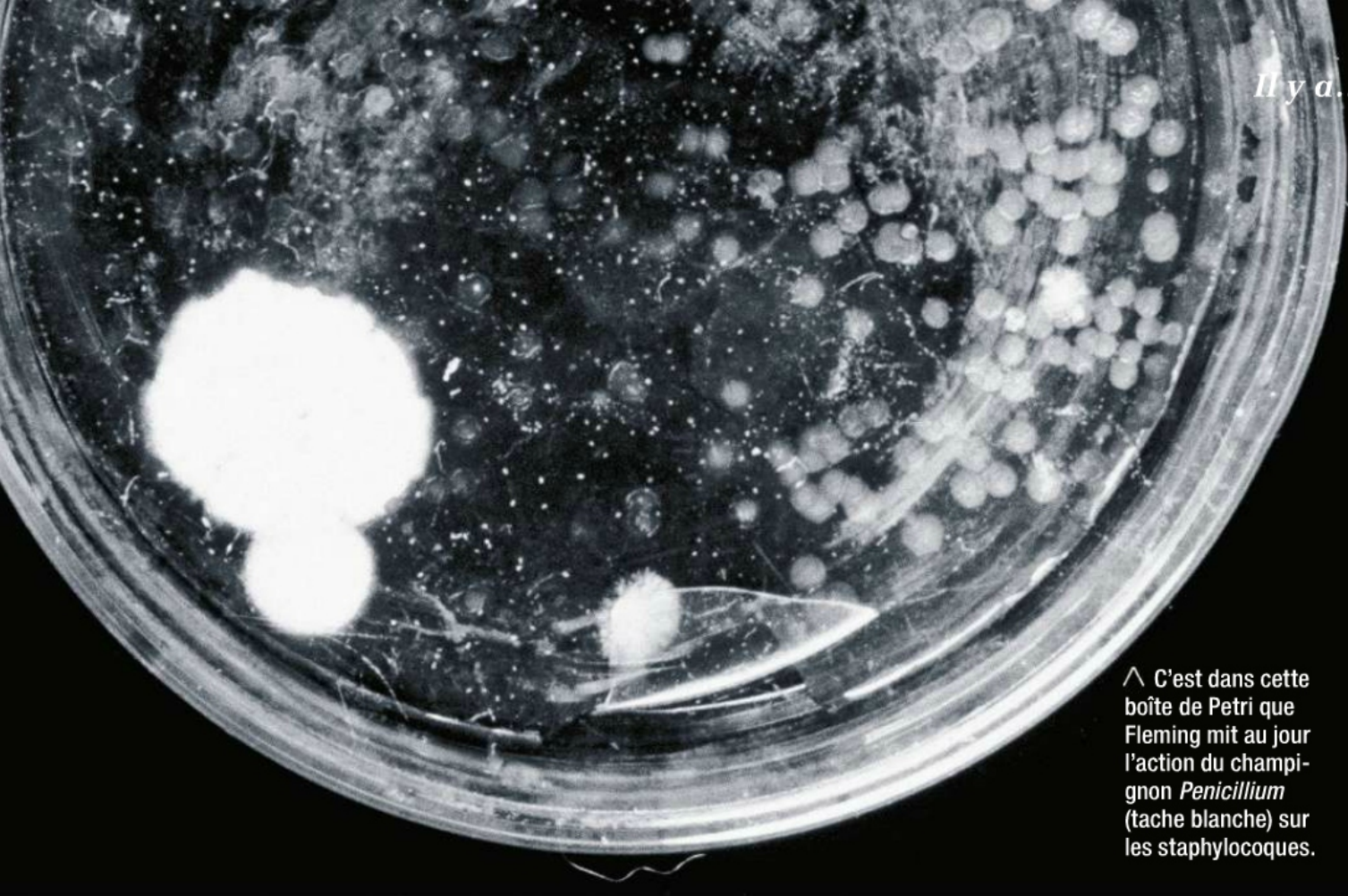


### 1945 LES DÉBUTS PENDANT LA GUERRE

Voilà que *Penicillium*, ce champignon coupable de ravager les farines, "apparaît [...] comme un bienfaiteur de l'humanité. Son extrait, la pénicilline, s'est en effet révélé comme un agent chimiothérapique souverain, capable d'arrêter d'abord et de refouler ensuite les plus redoutables 'cocci'" (staphylocoques...), jusqu'alors traités par sulfamides. "La pénicilline est d'ores et déjà fabriquée aux Etats-Unis à une échelle industrielle dans une vingtaine d'usines puissamment outillées." Ainsi, "la gangrène a pratiquement disparu des ambulances militaires anglaises et américaines". S&V n° 330



Il y a...



^ C'est dans cette boîte de Petri que Fleming mit au jour l'action du champignon *Penicillium* (tache blanche) sur les staphylocoques.

staphylocoques, pneumocoques, gonocoques, méningocoques et bacilles de la diphtérie –, contre lesquelles il n'existe aucun remède.

Quel est son principe actif? Fleming l'ignore. Mais il choisit d'appeler

“pénicilline” le bouillon filtré qu'il obtient de cette moisissure. Sans irriter les tissus humains, elle neutralise en quelques heures les bactéries sensibles à sa présence. Serait-elle l'antiseptique miracle qu'on attend depuis

des décennies? Fleming suggère tout au plus qu'elle mérite d'être étudiée.

Seulement, ses confrères trouvent dans son article bien peu d'éléments susceptibles de les mettre en appétit... Cette pénicilline

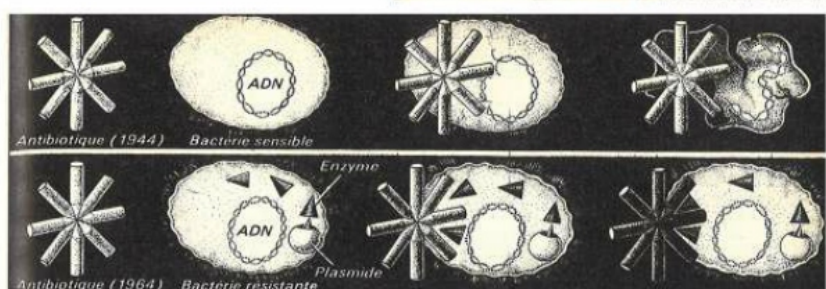
est issue d'une moisissure présente dans le seul laboratoire de Fleming. Il n'indique pas comment l'obtenir ni la purifier. Quant à l'idée même que des moisissures puissent agir contre des bactéries, elle n'a, déjà à

ST MARY HOSPITAL/SPL/COSMOS



## 1974 ALERTE À L'ABUS D'ANTIBIOTIQUES

Les antibiotiques étaient jusque-là en vente libre. Mais “le ministre de la Santé publique décide d'en interdire la vente sans ordonnance. Derrière cette décision, une situation alarmante: l'abus des antibiotiques a créé par sélection artificielle des souches de microbes totalement résistants”. Les animaux d'élevage en sont désormais gorgés. “Autant dire que nous vivons sous la menace d'un ‘coup d'Etat’ mondial des bactéries. [...] Résultat: on augmente les doses. On les multiplie même par dix, par vingt...” Pour faire mieux, “on peut chercher de nouveaux antibiotiques, réprimer les emplois inutiles et illicites, améliorer les conditions d'hygiène”. S&V n° 684



→ l'époque, rien de nouveau. La littérature médicale est pleine d'observations du même type, et rien ne laisse supposer que la pénicilline soit plus efficace que les autres champignons décrits.

Même Fleming manifeste un enthousiasme très mesuré. Les injections qu'il a faites en mars sur des lapins infectés se sont révélées décevantes : une fois dans le sang, le produit semble devenir inactif au bout d'une demi-heure. Dépit, il arrête tout essai médical. Et son article tombe dans l'oubli.

Il y restera une dizaine d'années. Jusqu'à ce qu'un professeur de pathologie d'Oxford, Howard Florey, se lance avec son assistant Ernst Boris Chain dans la recherche systématique d'agents antibactériens. Florey a été impressionné par l'action des sulfamides, découverts entre-temps, sur différentes bactéries responsables de pneumonies, méningites, scarlatines et fièvres puerpérales.



SPL/AGF

△ Ce n'est qu'en 1941, avec les premières guérisons humaines, que Fleming lui-même comprendra l'importance de sa découverte.

Même s'ils n'agissent pas toujours et provoquent de forts vomissements, ils ont sauvé sa fille.

#### L'ANTIBIOTIQUE MIRACLE

Peut-on trouver d'autres antibiotiques plus efficaces ? L'article de Fleming retient son attention. En 1939, il s'entoure d'une équipe pour extraire la pénicilline, la stabiliser et la purifier. Et tente une expérience capitale : il en injecte à intervalles réguliers, pendant plusieurs

jours, à des souris infectées. Contre toute attente, les souris traitées guérissent, quand les autres meurent en vingt-quatre heures !

Et sur l'homme ? Un an plus tard, Florey a produit d'assez grandes quantités de pénicilline pour pouvoir la tester sur des malades. Un premier patient, gravement infecté par des staphylocoques, est traité le 12 février 1941 par injection de 100 mg toutes les trois heures : il se rétablit

(provisoirement) en vingt-quatre heures. Dix jours plus tard, un garçon souffrant de septicémie à streptocoques est définitivement guéri en deux jours. Les guérisons miraculeuses s'enchaînent.

Reste un écueil : éliminée très vite par l'organisme, la pénicilline doit être injectée en grandes quantités. Il faut 2 000 litres de filtrat de moisissure pour soigner une seule infection ! Face aux hésitations des laboratoires britanniques, Florey se tourne vers les États-Unis qui, une fois entrés en guerre, font de la pénicilline un produit d'intérêt national. En juin 1944, l'industrie américaine en fabrique assez pour soigner 40 000 soldats.

Fleming devient un héros. Le prix Nobel lui est accordé en 1945, ainsi qu'à Florey et Chain, pour avoir lancé cette révolution des antibiotiques. Quant à l'obscur texte publié en juin 1929, il est aujourd'hui l'un des plus célèbres articles médicaux jamais écrits. **E.M.**

## SCIENCE&VIE en parlait encore

### 2004 LA PLAIE DES HÔPITAUX

La résistance des bactéries devient un problème de santé publique dans les hôpitaux. *"Un médecin a trouvé une parade : se laver les mains pendant cinq à six minutes et les frictionner trois minutes avec un gel. [...]*

*Radical ! Ceux qui sont le moins enclins à s'y plier ont des taux d'infection [chez leurs patients] beaucoup plus élevés", observe S&V. "Cette règle simple, curieusement difficile à faire respecter, est aujourd'hui généralisée." S&V n° 1045*



### 2009 LES NOUVELLES ARMES DE LA LUTTE BIOLOGIQUE

*"Alors que les antibiotiques sont de moins en moins efficaces contre les infections, l'espoir de leur trouver des successeurs avance à grands pas." S&V fait le tour des labos et en revient avec des peptides antimicrobiens, des bactériophages, virus des bactéries dont "l'utilisation relève de la lutte biologique, [...]" comme l'introduction des coccinelles contre les pucerons", et un système pour "brouiller la communication entre les bactéries et faire échouer leur plan d'attaque". Il y a urgence, car certains germes résistent désormais à tous les antibiotiques. S&V n° 1100*



à lire en intégralité dans **Les grandes archives** [www.science-et-vie.com](http://www.science-et-vie.com)

**63 MARQUES** présentées

**223 VOITURES** passées entre les mains de nos journalistes essayeurs

**258 PAGES** pour rêver et faire monter l'adrénaline



**Sport**  
**auto**

Fournisseur officiel d'adrénaline depuis 1962

AVEC RÉGULATEUR DE VITESSE ADAPTATIF ACC.  
**DÉCOUVREZ LE RÉGULATEUR  
DE VITESSE QUI S'ADAPTE  
À CELLE DES AUTRES.**



## Nouvelle Polo et son régulateur de vitesse adaptatif ACC, qui freine et accélère automatiquement en fonction du véhicule qui vous précède.

Avec une série d'équipements la plaçant parmi les modèles les plus avancés de sa catégorie, la Nouvelle Polo est tout simplement la meilleure des Polo. Aussi à l'aise en ville, avec sa caméra de recul<sup>(1)</sup> et son freinage automatique d'urgence Front Assist<sup>(1)</sup>, que sur les longs trajets, grâce à son régulateur de vitesse adaptatif ACC<sup>(1)</sup> et son détecteur de fatigue, la Nouvelle Polo vous fera redécouvrir le plaisir de conduire en toute confiance. Avec son moteur TDI BlueMotion<sup>(1)</sup>, elle vous assure des performances inégalées pour une consommation mixte de seulement 3,1 l/100 km. Que demander de plus? La possibilité de contrôler votre Smartphone<sup>(1)(2)</sup> depuis l'écran tactile de sa console centrale? Pas de problème.

## Nouvelle Polo. Place à la confiance.

A partir de **10 900 €<sup>(3)</sup>**

SOUS CONDITION DE REPRISE



**Das Auto.**

**Volkswagen recommande Castrol EDGE Professional**

Volkswagen Group France - s.a. - R.C.S. Soissons B 602 025 538

(1) En option selon modèle et finition. (2) Liste des Smartphones compatibles disponible sur <https://cert.mirrorlink.com/ProductListing/> (3) Prix TTC conseillé au tarif du 24/04/2014 de la Nouvelle Polo Trendline 1.0 60 ch 3 portes, remise exceptionnelle Volkswagen de 1000 € TTC et reprise Argus<sup>TM</sup> + 1000 € TTC sur votre ancien véhicule déduites (cf. volkswagen.fr). Reprise de votre ancien véhicule aux conditions générales de l'Argus<sup>TM</sup> (en fonction du cours de l'Argus<sup>TM</sup> du jour de reprise, du kilométrage, des éventuels frais de remise en l'état standard et abattement de 15% pour frais et charges professionnels déduit). Pour les véhicules hors cote Argus<sup>TM</sup>, reprise de 1000 € TTC. Offre réservée aux particuliers en France métropolitaine non cumulable avec toute autre offre en cours, valable pour toute commande entre le 01/06/2014 et le 30/06/2014, dans le réseau participant. **Modèle présenté:** Nouvelle Polo série spéciale CUP 1.2 TSI 90 ch BVM5 5 portes avec options toit ouvrant (850 € TTC), 'Pack City' (580 € TTC), régulateur de vitesse adaptatif 'ACC' avec 'Front Assist' (611 € TTC) et peinture bleu uni (230 € TTC) au prix TTC conseillé au tarif du 24/04/2014 de 17 321 €, remise exceptionnelle Volkswagen de 1 400 € et reprise Argus<sup>TM</sup> déduites. **Das Auto. : La Voiture.**

Cycle mixte (l/100 km) : 4,7. Rejets de CO<sub>2</sub> (g/km) : 107.

Professionnels, découvrez la version Business de ce véhicule sur [www.volkswagen.fr/entreprises](http://www.volkswagen.fr/entreprises).